2025

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España

Informe

Catálogo de publicaciones del Ministerio: https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/

Catálogo general de publicaciones oficiales: https://cpage.mpr.gob.es/

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este informe debe citarse de la siguiente manera:

Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

https://ericc.adaptecca.es

Autores de los capítulos:

METODOLOGIA:

Autores: Íñigo Losada Rodríguez (IH Cantabria), Laro González Canoura (IH Cantabria)

Contribuyentes: Íñigo Aniel-Quiroga (IH Cantabria), Javier López Lara (IH Cantabria), María Puig Fuentenebro (Tecnalia), Daniel Navarro Cueto (Tecnalia), Beñat Abajo Alda (Tecnalia), Efrén Feliu Torres (Tecnalia), David Lucio Fernández (IH Cantabria)

SALUD HUMANA:

Autora: Elisa Sainz de Murieta (BC3)

Contribuyentes: María José Sanz (BC3), Ane Loroño (BC3)

Agradecimientos: Manuel Franco (BC3)

AGUA y RECURSOS HÍDRICOS:

Autores: Raquel Gómez-Beas (Universidad de Córdoba), Eva Contreras (Universidad de Córdoba), María José Polo (Universidad de Córdoba), Rafael Pimentel (Universidad de Córdoba)

PATRIMONIO NATURAL, BIODIVERSIDAD y ÁREAS PROTEGIDAS:

Autoras: María José Sanz (BC3), Camino Fernández de la Hoz (IH Cantabria)

Contribuyentes: Samuel Sainz Villegas (IH Cantabria)

FORESTAL, DESERTIFICACIÓN, CAZA Y PESCA CONTINENTAL:

Autores: José Manuel Moreno Rodríguez (Universidad de Castilla-La Mancha), Rocío A. Baquero Noriega (Universidad de Castilla-La Mancha), M. Belén Hinojosa Centeno (Universidad de Castilla-La Mancha), Antonio Parra de la Torre (Universidad de Castilla-La Mancha), Itziar Rodríguez Urbieta (Universidad de Castilla-La Mancha), Iván Torres Galán (Universidad de Castilla-La Mancha), Olga Viedma Sillero (Universidad de Castilla-La Mancha)

Agradecimientos: Roxana Triguero-Ocaña

AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ACUICULTURA Y ALIMENTACIÓN:

Autoras: Inmaculada Batalla (BC3) y María José Sanz (BC3)

Contribuyentes: Elena Galán del Castillo (BC3)

Agradecimientos: Marta Albo (IEO-CSIC), Lucía López (IEO-CSIC)

COSTAS Y MEDIO MARINO:

Autores: Alexandra Toimil Silva (IH Cantabria), Íñigo Losada Rodríguez (IH Cantabria)

Contribuyentes: Samuel Sainz Villegas (IH Cantabria)

Agradecimientos: Diego Kersting (IATS-CSIC)

CIUDAD, URBANISMO Y EDIFICACIÓN:

Autor: Beñat Abajo Alda (Tecnalia)

Contribuyentes: María Ayelén Calvet (Tecnalia), Daniel Navarro Cueto (Tecnalia), Efrén Feliu Torres (Tecnalia)

Agradecimientos: Igone García Pérez (Tecnalia), Estibaliz Valtierra Lizarralde (Tecnalia)

PATRIMONIO CULTURAL:

Autora: Aitziber Egusquiza Ortega (Tecnalia)

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda (Tecnalia)

Agradecimientos: Joaquín García Álvarez (Fundación Santa María la Real), Estibaliz Valtierra Lizarralde (Tecnalia)

ENERGÍA:

Autora: Elena Turienzo López (Tecnalia)

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda (Tecnalia), Efrén Feliu Torres (Tecnalia)

Agradecimientos: Pedro Linares Llamas (Universidad Pontificia Comillas)

MOVILIDAD Y TRANSPORTE:

Autora: María Ayelén Calvet (Tecnalia)

Contribuyentes: Jorge Paz Jiménez (Tecnalia), María Puig Fuentenebro (Tecnalia)

Agradecimientos: Ana Arcos González (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible), Andrés Monzón de Cáceres (Fundación Agustín de Betancourt), Elena Curto Alonso (Ineco), Marta Gutiérrez González (Ineco), Cristina Oter García (Ineco), Oihana Jauregui Zorzano (Tecnalia)

INDUSTRIA Y SERVICIOS:

Autora: María Puig Fuentenebro (Tecnalia)

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda (Tecnalia), María Ayelén Calvet (Tecnalia)

Agradecimientos: Cristina Riestra López (CEOE), Oihana Jauregui Zorzano (Tecnalia)

TURISMO:

Autor: Laro González Canoura (IH Cantabria)

Agradecimientos: David García León (JRC Sevilla), Grupo Iberostar, Moisés Álvarez Cuesta (IH Cantabria)

SISTEMA FINANCIERO Y ACTIVIDAD ASEGURADORA:

Autores: Silvia Fernández Rodicio (IH Cantabria), Íñigo Losada Rodríguez (IH Cantabria)

Agradecimientos: María Cantero Saiz (Universidad de Cantabria)

PAZ, SEGURIDAD Y COHESIÓN SOCIAL:

Autora: María Ayelén Calvet (Tecnalia)

Contribuyentes: María Puig Fuentenebro (Tecnalia), Daniel Navarro Cueto (Tecnalia), Lara Lázaro Touza (Real Instituto Elcano), Gonzalo Escribano Francés (Real Instituto Elcano)

Agradecimientos: Sandra Hernando Casas (Tecnalia), Oihana Jauregui Zorzano (Tecnalia), Andrea Briones (Real Instituto Elcano), Sofía Tirado Sarti (Real Instituto Elcano), Ignacio Urbasos Arbeloa (Real Instituto Elcano)

ANÁLISIS DE RIESGOS COMPLEJOS:

Autor: Daniel Navarro Cueto (Tecnalia)

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda (Tecnalia), María Ayelén Calvet (Tecnalia), Efrén Feliu Torres (Tecnalia)

ORIENTACIONES PARA ESTABLECER PRIORIDADES:

Coordinación: Laro González Canoura (IH Cantabria)

ANÁLISIS MULTICRITERIO:

Coordinación: Laro González Canoura (IH Cantabria), Íñigo Aniel-Quiroga (IH Cantabria)

VARIABLES CLIMÁTICAS:

Autores: Íñigo Losada Rodríguez (IH Cantabria), David Lucio Fernández (IH Cantabria)

RESUMEN EJECUTIVO:

Autor: Javier López Lara (IH Cantabria)

Revisores:

OECC: María José Alonso Moya; Javier Barrado Carmona; María Celia Bueno Laviña; Miriam Bueno Lorenzo; Edurne Carrillo Martí; Fernando González Nuevo; Francisco J. Heras Hernández; Patricia Klett Lasso de la Vega; Rubén Labad Delgado; Vidal Labajos Sebastián; Elena Pérez Gómez; Sara Rodríguez Rego; María Salazar Guerra; Mónica Sánchez Bajo; María Sintes Zamanillo; Pablo Urrutia Cordero

IHCantabria: Javier López Lara, Íñigo Losada Rodríguez

Grupo Asesor:

Susana Álvarez Peláez (Oficina Andaluza de Cambio Climático. Secretaría General de Medio Ambiente y Cambio Climático de la Junta de Andalucía)

Juan Francisco Arrazola Herreros (Dirección General del Agua - MITECO)

Jordi Domingo Calabuig (Fundación Global Nature)

Francisco Espejo Gil (Consorcio de Compensación de Seguros)

Ana Patricia García Fletcher (Dirección General de la Costa y el Mar - MITECO)

Sergio González Ubierna (Universidad Complutense de Madrid)

Elena López Gunn (Miembro del Grupo asesor de la Comisión Europea)

Aitor Lacuesta (Banco de España)

Cristina Linares Gil (Instituto de Salud Carlos III)

Pablo Meira Cartea (Universidad de Santiago de Compostela)

José Ramón Picatoste Ruggeroni (Subdirección General para el Reto Demográfico - MITECO)

Gustavo Pestana Pérez (Dirección General de Transición Ecológica y Lucha contra el Cambio Climático del Gobierno de Canarias)

Ernesto Rodríguez Camino (Asociación Meteorológica Española)

Ana Romero Càlix (Área Metropolitana de Barcelona. Dirección del Área de Acción Climática y Agenda Estratégica Metropolitana)

Cristina Rivero (CEOE. Directora Departamento de Industria, Energía, Medio Ambiente y Clima)

Manuel Rodríguez Pérez (Oficina Andaluza de Cambio Climático. Secretaría General de Medio Ambiente y Cambio Climático de la Junta de Andalucía)

Jonathan Sánchez García (ADIF. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible)

Vanessa Sánchez Ortega (Fundación Global Nature)

Daniel Santabárbara (Banco de España)

Fernando Señas Bea (Oficina de Cambio Climático de Navarra)

Ana María Tarquis Alfonso (CEIGRAM)

Inmaculada Tola Pérez (Oficina Andaluza de Cambio Climático. Secretaría General de Medio Ambiente y Cambio Climático de la Junta de Andalucía)

Jorge Olcina Cantos (Universidad de Alicante).

Índice general

Preámbulo / pág. 7

Resumen ejecutivo / pág. 9

Executive Summary / pág. 47

PARTE I: METODOLOGÍA Y VARIABLES CLIMÁTICAS / pág. 83

Metodología / pág. 85

Variables climáticas / pág. 157

PARTE II: ANÁLISIS SECTORIALES / pág. 223

Salud humana / pág. 225

Agua y recursos hídricos / pág. 299

Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas / pág. 395

Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental / pág. 489

Agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y alimentación / pág. 637

Costas y medio marino / pág. 709

Ciudad, urbanismo y edificación / pág. 807

Patrimonio cultural / pág. 893

Energía / pág. 963

Movilidad y transporte / pág. 1041

Industria y servicios / pág. 1115

Turismo / pág.1191

Sistema financiero y actividad aseguradora / pág. 1257

Paz, seguridad y cohesión social / pág. 1331

PARTE III: RESULTADOS / pág. 1413

Orientaciones para establecer prioridades / pág. 1415

Análisis de riesgos complejos / pág. 1437

PARTE IV: ANEXOS / pág. 1501

Anexo I. Listado de riesgos relevantes y riesgos clave / pág. 1503

Anexo II. Glosario / pág. 1519

Preámbulo

En un contexto donde el cambio climático ha pasado a ocupar un lugar destacado en la agenda pública, la acción climática exige herramientas sólidas, rigurosas y efectivas, orientadas a la transformación. La **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático (ERICC-2025)** representa un hito en esta dirección: es el primer ejercicio a escala nacional que identifica, caracteriza y prioriza de forma sistemática los riesgos climáticos que enfrenta España, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad de las personas, el medio ambiente y las actividades económicas.

La ERICC-2025 responde al mandato del **artículo 18 de la Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética**, que establece la obligación de realizar esta evaluación cada cinco años. Esta ley marca un punto de inflexión al situar el conocimiento de los riesgos como piedra angular de la acción climática, reconociendo que **identificar y comunicar los riesgos** no es solo una responsabilidad técnica, sino un compromiso democrático con la preparación colectiva.

La adaptación al cambio climático se configura como un conjunto de iniciativas estratégicas cuyo fin último es la reducción de riesgos. En este marco, la ERICC-2025 se configura como una herramienta de diagnóstico imprescindible, que no ofrece soluciones cerradas, pero sí una base técnica rigurosa sobre la que construir unas respuestas eficaces, equitativas y sostenibles.

Desarrollada entre 2023 y 2025 por un consorcio científico-técnico (IH Cantabria, Tecnalia y BC3), bajo la coordinación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, la evaluación adopta un enfoque nacional, multisectorial. Su carácter periódico permite revisar y mejorar continuamente el diagnóstico, adaptándolo a la evolución del conocimiento y a los fenómenos observados.

La ERICC-2025 ha identificado **141 riesgos climáticos relevantes**, de los cuales **51 son considerados clave**, y ha analizado sus interrelaciones, revelando que los riesgos no operan de forma aislada. Esta mirada sistémica pone de manifiesto la necesidad de una **coordinación institucional** que no puede ser eludida, especialmente en aras de proteger a la población más vulnerable.

Los resultados de la evaluación se sustentan en principios fundamentales: participación de actores clave desde el inicio del proceso, uso del mejor conocimiento existente, rigor científico, conexión entre ciencia, administración y sociedad, y una comunicación clara y orientada a la acción. Además, se ha incorporado una perspectiva de equidad, reconociendo los impactos desproporcionados que sufren ciertos colectivos y las barreras que enfrentan.

La ERICC-2025 se alinea con los enfoques del **IPCC** y de la **Evaluación Europea de Riesgos Climáticos (EUCRA)**, adaptados al contexto español. Sus resultados ofrecen un diagnóstico claro y actual, y constituyen el **respaldo técnico y científico** para orientar el segundo programa de trabajo 2026-2030 del **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)**, así como para diseñar otras políticas públicas en materia de adaptación.

Este proyecto no solo representa un avance técnico, sino también un ejercicio de responsabilidad institucional. Proporciona una base sólida para mejorar la planificación, priorizar medidas y fortalecer la capacidad de respuesta ante los riesgos identificados. En un momento en que los riesgos climáticos se intensifican y se entrelazan con otras crisis, la ERICC -2025 constituye una herramienta clave para avanzar con conocimiento, previsión y justicia.

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Resumen ejecutivo

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autor/Autores del capítulo

Autor: Javier Lopez Lara

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este informe debe citarse de la siguiente manera:

Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. et al. 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Introducción y propósito del informe / pág. 13

1.1. Contexto legal y estratégico / pág. 14

1.2. Objetivos principales de la ERICC-2025 / pág. 14

1.3. Alcance territorial y temporal de la evaluación / pág. 15

1.4. Vinculación con marcos europeos e internacionales / pág. 16

2. Marco conceptual y metodológico / pág. 17

2.1. Enfoque multicriterio para la identificación de riesgos relevantes y riesgos clave / pág. 17

2.2. Análisis de interdependencias y riesgos complejos / pág. 18

2.3 Criterios de urgencia / pág. 19

2.4. Nivel de confianza y seguimiento recomendado / pág. 20

2.5. Referencia cruzada a los anexos metodológicos / pág. 20

3. Evolución climática observada y proyecciones futuras / pág. 21

3.1. Tendencias climáticas observadas / pág. 21

3.2. Proyecciones climáticas para el siglo XXI / pág. 22

3.3. Eventos extremos compuestos y efectos en cascada / pág. 23

3.4. Regionalización: patrones diferenciados por áreas bioclimáticas / pág. 24

3.5. Conexión con el capítulo de “Variables climáticas” / pág. 25

4. Resultados de la evaluación de riesgos / pág. 26

4.1. Panorama general / pág. 26

4.2. Resultados sectoriales sintéticos / pág. 27

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 33

5.1. Grado de salida / pág. 34

5.2. Grado de entrada / pág. 35

5.3. Gestión integrada y sistémica / pág. 36

6. Priorización de políticas y medidas de adaptación / pág. 37

6.1. Dimensión de urgencia / pág. 37

6.2. Dimensión de seguimiento / pág. 38

6.3. Dimensión de gestión / pág. 38

6.4. Riesgos con prioridades múltiples y visión integrada / pág. 39

7. Conclusiones estratégicas / pág. 41

7.1. Principales hallazgos agregados / pág. 41

7.2. Sectores y territorios más vulnerables / pág. 41

7.3. Conclusiones adicionales / pág. 42

7.4. Representación del sistema de riesgos y prioridades estratégicas / pág. 44

7.5. Ámbitos de conocimiento y acción a reforzar / pág. 45

7.6. Relevancia para la política de adaptación / pág. 46

1. Introducción y propósito del informe

La **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)** constituye el primer ejercicio integral a escala nacional orientado a **identificar, caracterizar y priorizar los riesgos climáticos** que afectan a los sistemas naturales, productivos y sociales del país. Su finalidad es proporcionar una **base científica y metodológica sólida** que oriente la planificación de políticas públicas de adaptación, la gestión del riesgo climático y la integración de la variable climática en la toma de decisiones estratégicas.

El desarrollo de la ERICC-2025 da cumplimiento al **artículo 18 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética**, que establece la obligación de realizar evaluaciones periódicas de impactos y riesgos climáticos, con una periodicidad mínima de cinco años.

La evaluación es un paso esencial en el ciclo de las políticas de adaptación, y resulta clave para el desarrollo del **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC)**, que es el instrumento de planificación básico para promover la acción coordinada y coherente frente a los efectos del cambio climático en España. En este contexto la ERICC-2025 desempeña un papel fundamental en la generación de conocimiento —uno de los componentes estratégicos del PNACC— al materializar la evaluación del riesgo climático. Asimismo constituye la referencia técnica sobre la que se apoyará el próximo **programa de trabajo 2026-2030**, orientado a la implementación de medidas de adaptación sectoriales y territoriales.

El informe ha sido elaborado entre 2023 y 2025 por un **consorcio científico-técnico integrado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria), Tecnalia Research & Innovation** y el **Basque Centre for Climate Change (BC3)**, bajo la coordinación de la **OECC** y con la colaboración de la **Fundación Biodiversidad**. Este proceso ha implicado una extensa revisión científica y técnica, así como la participación de expertos y organismos de distintos ámbitos sectoriales, garantizando la trazabilidad, consistencia y coherencia metodológica entre capítulos.

1.1. Contexto legal y estratégico

El marco legal de referencia se sustenta en la **Ley 7/2021**, que incorpora el principio de adaptación como elemento transversal de las políticas públicas, e impulsa la integración del riesgo climático en la planificación sectorial, territorial y financiera. En coherencia con los compromisos internacionales de España en el marco de la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)** y del **Acuerdo de París (2015)**, esta ley dispone que la Administración General del Estado evalúe periódicamente los riesgos e impactos climáticos, identificando los sectores más vulnerables y las medidas prioritarias de adaptación.

En el ámbito estratégico, la ERICC-2025 da continuidad al proceso iniciado con la evaluación nacional de 2020 ("Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España") y actualiza los análisis a la luz del **Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**, de los **nuevos escenarios climáticos regionalizados** y del progreso científico y técnico en materia de observación, modelización y gestión del riesgo. El estudio también responde a las directrices de la **Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Unión Europea (2021)** y del **Green Deal europeo**, que promueven la resiliencia climática como prioridad transversal para la seguridad energética, alimentaria y social del continente.

1.2. Objetivos principales de la ERICC-2025

Los objetivos fundamentales de la evaluación son:

1. **Identificar y caracterizar los principales riesgos climáticos** que afectan a los distintos sistemas naturales, productivos y sociales en España, aplicando un marco metodológico homogéneo y replicable.

2. **Evaluar la severidad, inminencia y capacidad de recuperación** frente a dichos riesgos, determinando su urgencia de acción.

3. **Analizar las interdependencias entre sectores y sistemas,** identificando riesgos complejos y efectos en cascada.

4. **Establecer una base científica para la priorización de medidas de adaptación**, orientando la planificación del PNACC 2026-2030 y su coherencia con las estrategias europeas e internacionales.

5. **Fortalecer la capacidad de seguimiento y evaluación del riesgo climático,** estableciendo criterios comunes para el monitoreo futuro.

El informe sintetiza los resultados de **14 ámbitos sectoriales** definidos en el PNACC 2021-2030: salud, agua y recursos hídricos, patrimonio natural y biodiversidad, forestal, agricultura y alimentación, costas y medio marino, energía, movilidad y transporte, industria y servicios, turismo, sistema financiero y asegurador, patrimonio cultural, paz-seguridad-cohesión social y ciudad-urbanismo-edificación.

En conjunto, se han identificado **141 riesgos relevantes (RR)** y **51 riesgos clave (RC)**, agrupados en tres grandes sistemas: natural, productivo y social-institucional.

1.3. Alcance territorial y temporal de la evaluación

La **ERICC-2025** tiene un **alcance territorial nacional**, con representaciones diferenciadas por grandes **áreas bioclimáticas** (Atlántico, Mediterráneo, continental e insular), lo que permite reflejar las particularidades de exposición y vulnerabilidad propias de cada región. Aunque la escala es agregada, el informe subraya la necesidad de **profundizar en evaluaciones autonómicas y locales**, que permitan diseñar respuestas adaptadas a las realidades territoriales específicas.

El **horizonte temporal** del análisis abarca tanto la evolución observada del clima (1961-2020) como las proyecciones para el siglo XXI bajo distintos escenarios de emisiones (SSP2-4.5 y SSP5-8.5), considerando horizontes de **medio plazo (2040-2060)** y **largo plazo (2080-2100)**. Este enfoque permite identificar **tendencias observadas**, proyectar la evolución de los principales **peligros climáticos** (p. ej. incremento de temperatura media, reducción de la precipitación, aumento de la aridez, intensificación de sequías, eventos extremos compuestos, subida del nivel del mar y acidificación oceánica), y evaluar su interacción con los factores de exposición y vulnerabilidad.

1.4. Vinculación con marcos europeos e internacionales

La ERICC-2025 se enmarca en un contexto de **alineamiento estratégico internacional**, adoptando los estándares metodológicos del **IPCC (AR6)** y de la **Evaluación Europea de Riesgos Climáticos (EUCRA, 2024)**, con el fin de garantizar la **comparabilidad y coherencia** con los sistemas de reporte europeos e internacionales.

Asimismo, el estudio podría reforzar los vínculos con **EIONET**, la red europea de información medioambiental coordinada por la Agencia Europea de Medio Ambiente, y con la plataforma **Climate-ADAPT**, que recoge información armonizada sobre riesgos y medidas de adaptación en Europa. Esta interoperabilidad busca situar a España como **referente europeo en la evaluación y gestión del riesgo climátic**o, contribuyendo a los objetivos de la **Estrategia de Adaptación de la UE y del Pacto Verde Europeo**.

En conjunto, la ERICC-2025 constituye una herramienta estratégica para orientar la **planificación de la adaptación en España** durante la próxima década, ofreciendo una **visión integrada del riesgo climático** que combina rigor científico, coherencia metodológica y aplicabilidad para la política pública. Su carácter dinámico y actualizable permitirá fortalecer la resiliencia de los territorios, ecosistemas y sectores productivos ante los retos climáticos del siglo XXI.

2. Marco conceptual y metodológico

La **ERICC-2025** se fundamenta en el **marco conceptual del riesgo climático desarrollado por el IPCC,** adoptado en su **Sexto Informe de Evaluación (AR6, 2022)**, y aplicado de forma coherente a todos los sectores analizados.

De acuerdo con este marco, el **riesgo climático** resulta de la interacción entre tres componentes fundamentales: **peligro**, **exposición** y **vulnerabilidad**.

Los **peligros** hacen referencia a los fenómenos de origen climático susceptibles de generar impactos adversos (p. ej. olas de calor, sequías prolongadas, eventos extremos de precipitación, aumento del nivel del mar o acidificación oceánica). La **exposición** se define como la presencia de personas, ecosistemas, infraestructuras o activos económicos y culturales en zonas que pueden verse afectadas por esos fenómenos. La **vulnerabilidad** expresa la predisposición o propensión a sufrir daños, incluyendo tanto la sensibilidad o susceptibilidad de los sistemas como su capacidad de respuesta y adaptación. Los riesgos de **respuesta** son aquellos derivados de las estrategias de gestión del cambio climático, incluyendo tanto sus consecuencias imprevistas como su impacto a largo plazo en el sistema climático y en la sociedad, y se analizan como aspectos transversales dentro de esta evaluación.

Este enfoque permite analizar los riesgos derivados del cambio climático desde una perspectiva **sistémica y dinámica**, identificando cómo la evolución de los peligros climáticos interactúa con los factores sociales, económicos y territoriales que determinan la exposición y la vulnerabilidad.

2.1. Enfoque multicriterio para la identificación de riesgos relevantes y riesgos clave

La metodología se basa en un proceso de tres fases que combina revisión científica, análisis multicriterio y validación experta.

Las fases seguidas son:

1. **Identificación de riesgos relevantes (RR):**

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica, informes técnicos y bases de datos nacionales e internacionales, junto con la recopilación de evidencias de impactos observados en España desde 2020. Este proceso permitió establecer un primer inventario de **riesgos relevantes** para cada uno de los 14 ámbitos sectoriales del PNACC 2021-2030.

2. **Selección de riesgos clave (RC):**

A partir del listado de riesgos relevantes, se aplicó un **análisis multicriterio (AMC)** con criterios alineados con los estándares del IPCC. Los factores considerados incluyen el **alcance espacial del riesgo**, la **magnitud del impacto económico o social**, la **población potencialmente afectada**, la **irreversibilidad de los impactos**, la **existencia de umbrales críticos**, el **efecto transfronterizo**, la **existencia de impactos acumulativos** y el grado de **evidencia científica disponible**.

El AMC permitió identificar un conjunto de **51 riesgos clav**e, que representan los fenómenos con mayor potencial de afectar de forma crítica a los sistemas naturales, productivos y sociales de España.

3. **Análisis sectorial detallado:**

Para cada riesgo clave, se desarrollaron **modelos conceptuales de riesgo** y **cadenas de impacto** que integran los tres componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) y describen las interacciones entre factores físicos, ecológicos, económicos y sociales. Cada riesgo se documentó en **fichas analíticas normalizadas**, garantizando la trazabilidad metodológica entre sectores.

Este proceso metodológico asegura la **homogeneidad, transparencia y replicabilidad** de la evaluación, permitiendo su actualización periódica y su aplicación en escalas territoriales o temáticas más detalladas.

2.2. Análisis de interdependencias y riesgos complejos

Además del análisis sectorial, la ERICC-2025 desarrolla un **modelo de riesgos complejos** basado en teoría de grafos, con el objetivo de representar y cuantificar las **interconexiones entre los 51 riesgos clave**. Este modelo permite visualizar el sistema de riesgos como una **red de interdepen-**

dencias donde los nodos representan los riesgos y las aristas las relaciones de influencia entre ellos.

El modelo permite identificar los sectores a los que pertenecen los riesgos con mayor impacto directo en otros riesgos, entre los que destacan **agua, patrimonio natural y forestal,** así como los sectores más expuestos a verse afectados de forma directa, como **paz, sistema financiero y patrimonio natural**. Por último, destacan los riesgos con mayor capacidad de propagar efectos en cascada pertenecientes a los s**ectores patrimonio natural, agricultura, paz, agua y ciudad.**

Mediante métricas de centralidad, (**grado de entrada, grado de salida, intermediación y cercanía**), el análisis revela las relaciones críticas del sistema, facilitando la identificación de **riesgos sistémicos** que requieren estrategias de adaptación coordinadas y transversales.

Este enfoque refleja las recomendaciones del **IPCC AR6** y de la **Evaluación Europea de Riesgos Climáticos (EUCRA)**, que destacan la necesidad de superar los enfoques sectoriales para abordar **efectos compuestos, retroalimentaciones y disfunciones intersectoriales**.

2.3 Criterios de urgencia

El proceso de priorización de riesgos dentro de la ERICC-2025 se apoya en tres criterios fundamentales:

- **Severidad,** entendida como la gravedad de los potenciales impactos si se materializa un riesgo en un escenario dado.

- **Inminencia,** que mide la probabilidad de que el impacto ocurra en el corto o medio plazo bajo escenarios climáticos plausibles.

- **Capacidad de recuperación,** que evalúa el tiempo y los recursos necesarios para restablecer las funciones afectadas tras un impacto, teniendo en cuenta los mecanismos de resiliencia social, ecológica e institucional.

Estos criterios permiten clasificar los riesgos en tres niveles de prioridad (**máxima, significativa y limitada**), orientando la toma de decisiones estratégicas y la asignación de recursos para la adaptación en el próximo ciclo del PNACC (2026-2030).

2.4. Nivel de confianza y seguimiento recomendado

La evaluación de cada riesgo clave incorpora una estimación del **nivel de confianza** en la severidad e inminencia de los impactos, basada en la **calidad y consistencia de la evidencia científica y técnica** disponible.

Se emplea una escala cualitativa (alta, media o baja) que refleja la robustez de los datos y el grado de consenso entre fuentes. Cuando la información disponible resulta insuficiente, se recomienda la implementación de **acciones de seguimiento y mejora de la observación climática**, en particular en sectores con alta incertidumbre o fuerte dependencia de variables no climáticas, como el **sistema financiero**, la **salud** o el **patrimonio cultural**.

El capítulo metodológico establece, además, directrices para fortalecer la **trazabilidad y transparencia del conocimiento**, incluyendo protocolos de documentación y validación, indicadores sectoriales y procedimientos para la actualización periódica de los datos.

2.5. Referencia cruzada a los anexos metodológicos

La ERICC-2025 incluye varios **documentos metodológicos** que complementan el análisis principal:

- El **Anexo de Variables Climáticas** recoge las tendencias observadas y las proyecciones futuras de temperatura, precipitación, aridez, nivel del mar, oleaje y acidificación oceánica, integradas en los modelos de riesgo sectorial.

- El **Análisis Multicriterio** detalla los indicadores utilizados para la priorización de riesgos, los pesos asignados por los autores a cada criterio, así como su justificación y los resultados agregados por sector.

- El **Glosario** armoniza los conceptos técnicos utilizados, adaptándolos al marco del IPCC AR6 y garantizando su consistencia a lo largo de los capítulos sectoriales.

En conjunto, este marco conceptual y metodológico proporciona una **estructura coherente, verificable y replicable** para la evaluación de riesgos climáticos en España, permitiendo integrar la evidencia científica más reciente con las necesidades operativas de la planificación de la adaptación.

3. Evolución climática observada y proyecciones futuras

El análisis de la evolución del clima en España constituye la base empírica sobre la que se sustentan las evaluaciones de riesgo de la **ERICC-2025.** El estudio integra observaciones instrumentales, reanálisis climáticos y proyecciones regionalizadas desarrolladas en el marco del programa **CORDEX-EU** y de la plataforma **AdapteCCa,** así como los escenarios nacionales derivados de los modelos CMIP6. Se analizan los principales **peligros climáticos** (temperatura, precipitación, sequías, aridez, nivel del mar, oleaje y acidificación oceánica) y sus interacciones, considerando tanto **tendencias históricas** (1961-2020) como **proyecciones futuras** bajo distintos escenarios de emisión (SSP2-4.5 y SSP5-8.5).

3.1. Tendencias climáticas observadas

Los resultados confirman que **España se sitúa entre las regiones europeas con mayor exposición y sensibilidad climática,** especialmente en el área mediterránea, los archipiélagos y las zonas interiores semiáridas.

Las **variables climáticas** más relevantes muestran tendencias claras:

- **Temperatura:** incremento medio de +1,69 °C desde mediados del siglo XX, con mayor frecuencia e intensidad de **olas de calor**, incremento de las **noches tropicales** y prolongación de los veranos climatológicos.

- **Precipitación:** Sin tendencia clara en cuanto a cambio de la precipitación media; predominio de episodios torrenciales breves y concentrados frente a periodos prolongados de sequía.

- **Sequías:** mayor duración e intensidad de sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas, con impactos acumulativos sobre ecosistemas, producción agraria y disponibilidad de agua.

- **Aridez y humedad del suelo:** incremento de la evapotranspiración potencial y reducción de la humedad edáfica, lo que acelera procesos de **desertificación** y pérdida de productividad de suelos.

- **Nivel del mar:** ascenso medio superior a 3 mm/año, acompañado por un aumento de la frecuencia de **mareas meteorológicas** y de la erosión costera.

- **Oleaje:** incremento de la energía de los temporales en el Atlántico y el Mediterráneo occidental; efectos acumulativos en puertos, playas y sistemas dunares.

- **Temperatura y acidificación oceánica:** calentamiento de las aguas superficiales y disminución del pH, que afectan a hábitats marinos, pesquerías y ecosistemas costeros.

- **Eventos extremos compuestos:** aumento de episodios simultáneos de calor y sequía, o de lluvias torrenciales tras sequías prolongadas, con efectos en cascada sobre sectores económicos y sociales.

Estos cambios se reflejan ya en múltiples indicadores ambientales y socioeconómicos, confirmando que los **impactos observados** son consistentes con las proyecciones climáticas para horizontes de 2030 y 2050.

3.2. Proyecciones climáticas para el siglo XXI

Las proyecciones climáticas analizadas confirman la continuidad y agravamiento de las tendencias observadas.

Bajo el escenario intermedio **SSP2-4.5,** se prevé un aumento medio de temperatura de **2 °C a mediados de siglo** y de **3 °C a finales de siglo** respecto al periodo 1981-2010; en el escenario alto **SSP5-8.5**, el incremento podría superar los **4 °C** en amplias zonas del sur y sureste.

Las **olas de calor** serán más prolongadas y frecuentes, y las noches tropicales (temperatura mínima > 20 °C) aumentarán en número y extensión, especialmente en zonas urbanas mediterráneas y litorales, con implicaciones directas sobre la salud y el consumo energético.

En cuanto a la **precipitación**, los modelos indican una **reducción media anual del 4 % al 16 % a finales de siglo**, aunque con marcada heterogeneidad regional. Se prevé un aumento de la irregularidad estacional, con inviernos más húmedos en el norte y otoños-veranos más secos en el sur y el este. En cambio, los eventos de **precipitación extrema** (> 95º percentil) podrían incrementarse en intensidad, elevando el riesgo de inundaciones repentinas y erosión.

Las **sequías hidrológicas y agrícolas** se intensificarán, reduciendo los caudales medios y los niveles de almacenamiento en embalses. Las cuencas del **Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro** presentan los mayores descensos proyectados de disponibilidad hídrica, con repercusiones sobre los recursos para riego, abastecimiento urbano y generación hidroeléctrica.

El cambio en el régimen de lluvias, con mayor irregularidad, junto con el aumento de las temperaturas, **favorecerá condiciones más propicias para incendios forestales** más virulentos y extensos, debido al mayor volumen de combustible expuesto a periodos de sequía más prolongados. Las proyecciones climáticas indican un aumento del peligro de incendios, con una mayor frecuencia (hasta un +14 % en el escenario RCP 4.5 y +30 % en el RCP 8.5 a finales de siglo) y temporadas de riesgo más largas

El **nivel del mar** continuará aumentando durante todo el siglo, con una proyección de **+30 a +45 cm para 2100** en el escenario intermedio y **hasta +80 cm** en el escenario alto, dependiendo de la tasa de fusión de los casquetes polares. Este ascenso se combinará con una mayor frecuencia de eventos de nivel extremo, exacerbando la **inundación costera y la erosión** en llanuras deltaicas y zonas urbanizadas del Mediterráneo y Canarias.

En el medio oceánico, la **temperatura superficial del mar** podría aumentar hasta **3 °C** a finales de siglo, mientras que el pH podría descender adicionalmente **0,3 unidades,** intensificando la pérdida de biodiversidad marina y la alteración de las redes tróficas.

3.3. Eventos extremos compuestos y efectos en cascada

Los capítulos de **Riesgos Complejos** y de **Variables Climáticas** subrayan la creciente relevancia de los **eventos extremos compuestos,** entendidos como la coincidencia o interacción de múltiples peligros climáticos (p. ej. olas de calor prolongadas y sequías; temporales marítimos e inundaciones pluviales; calor extremo y contaminación atmosférica). Estos fenómenos producen **efectos no lineales** que amplifican los daños y reducen la capacidad de respuesta de los sistemas naturales y humanos.

Ejemplos recientes incluyen la **sequía de 2022-2023**, que combinó déficit pluviométrico, olas de calor y altas temperaturas del suelo, provocando descensos excepcionales en la productividad agrícola, reducción de embalses y pérdidas económicas significativas. En el ámbito costero, la

coincidencia de temporales marítimos con mareas astronómicas y meteorológicas, además de con lluvias intensas está generando daños simultáneos sobre infraestructuras, playas y humedales litorales.

El análisis de interdependencias muestra cómo estos eventos pueden originar **riesgos en cascada:** la disminución de recursos hídricos repercute en la generación hidroeléctrica y en la refrigeración de centrales térmicas, incrementando la demanda energética y los costes del sistema; a su vez, la escasez hídrica y el calor extremo afectan a la productividad laboral, la salud y la estabilidad financiera de determinados sectores económicos.

3.4. Regionalización: patrones diferenciados por áreas bioclimáticas

La **diversidad climática de España** condiciona la distribución espacial de los impactos:

- En la **región atlántica**, el aumento de temperatura es más moderado, pero se prevén mayores episodios de precipitación intensa y un incremento de avenidas fluviales.
- En la **región mediterránea**, el calentamiento y la reducción de lluvias son más acusados, intensificando sequías, estrés hídrico y degradación del suelo.
- En la **región continental interior**, la continentalidad amplifica las oscilaciones térmicas y la exposición a olas de calor prolongadas.
- En los **archipiélagos**, la subida del nivel del mar, la erosión costera y la dependencia energética y alimentaria acentúan la vulnerabilidad.

Estos patrones bioclimáticos son esenciales para contextualizar la evaluación de riesgos sectoriales. Sectores como el **agua, la agricultura, la energía y el turismo** muestran alta sensibilidad a los gradientes climáticos regionales y a las dinámicas de los ecosistemas, mientras que sectores como la **salud o la planificación urbana** se ven más afectados por factores de exposición y densidad poblacional.

3.5. Conexión con el capítulo de “Variables climáticas”

El **Capítulo de Variables Climáticas** constituye la referencia transversal de la ERICC-2025, proporcionando los insumos cuantitativos para la modelización del riesgo. Este capítulo integra indicadores básicos (temperatura, precipitación, viento, nivel del mar) y derivados (índices de sequía, aridez, eventos extremos, acidificación oceánica), así como su **traducción sectorial** mediante indicadores compuestos y variables específicas, por ejemplo, evapotranspiración de referencia en agricultura, caudal medio anual en recursos hídricos, rebase en costas o grado-día de enfriamiento en energía.

La combinación de observaciones, proyecciones y variables sectoriales constituye la **columna vertebral del análisis de riesgo,** permitiendo evaluar de forma integrada la exposición territorial, la vulnerabilidad y las interdependencias entre sectores.

4. Resultados de la evaluación de riesgos

4.1. Panorama general

La **ERICC-2025** identifica un total de **141 riesgos relevantes (RR)** y **51 riesgos clave (RC)** distribuidos entre los **14 ámbitos sectoriales** definidos en el **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC)**.

Cada riesgo clave representa una **interacción crítica entre peligros climáticos, exposición y vulnerabilidad**, y ha sido analizado en términos de severidad, inminencia, urgencia y capacidad de recuperación.

El conjunto de riesgos revela que el cambio climático está actuando como **amplificador de presiones estructurales preexistentes** (degradación de ecosistemas, uso intensivo de recursos, concentración urbana o desigualdad territorial), generando **efectos acumulativos y sistémicos** que afectan simultáneamente a los sistemas naturales, productivos y sociales.

De forma agregada, la ERICC-2025 destaca los siguientes patrones generales:

- Los **sectores-nodo** (**agua, energía y salud**) actúan como ejes articuladores del sistema de riesgos, dada su elevada interconexión con otros sectores y su capacidad de generar impactos en cascada.

- Los **sectores más expuestos** a peligros físicos directos son **costas y medio marino**, **agricultura**, **patrimonio natural y biodiversidad**, y **sistema forestal**, por su dependencia directa de variables climáticas.

- Se identifican **17 riesgos de baja o nula reversibilidad**, asociados principalmente a pérdida de hábitats, degradación de suelos, erosión costera y desertificación, que requieren medidas preventivas inmediatas.

- La **urgencia de acción** se concentra en los sectores que afectan directamente al bienestar humano y la seguridad socioeconómica (salud, agua, energía y alimentación), donde los impactos se proyectan en horizontes de corto y medio plazo.

- Los **efectos compuestos y las interdependencias** entre sectores incrementan la probabilidad de disfunciones sistémicas, destacando las conexiones Agua-Energía-Alimentos, Costas-Turismo-Infraestructuras, y Salud-Trabajo-Energía.

Desde el punto de vista de los componentes del riesgo:

- Los **peligros** climáticos predominantes incluyen el aumento sostenido de la temperatura media, la intensificación de las olas de calor, la reducción de la precipitación y la mayor frecuencia de eventos extremos (inundaciones, temporales marítimos, incendios forestales).

- La **exposición** es especialmente alta en áreas litorales, corredores fluviales, zonas agrícolas intensivas y grandes aglomeraciones urbanas.

- La **vulnerabilidad** se concentra en territorios con menor capacidad de adaptación (zonas rurales despobladas, entornos costeros densamente urbanizados, ecosistemas degradados o sectores económicos dependientes de recursos naturales).

El **nivel de confianza** en los resultados es alto en los sectores mejor documentados (agua, costas, energía, salud) y medio en aquellos con mayores incertidumbres derivadas de la escasez de datos o de la interacción de factores no climáticos (patrimonio cultural, sistema financiero, cohesión social).

4.2. Resultados sectoriales sintéticos

El análisis sectorial permite comprender cómo los impactos del cambio climático se manifiestan de forma diferenciada, pero interconectada, a través de los sistemas **natural**, **productivo** y **social-institucional**.

Cada uno de ellos refleja una combinación única de exposición, vulnerabilidad y capacidad adaptativa, pero todos están atravesados por dependencias comunes (los recursos hídricos, la energía, la salud y los ecosistemas) que determinan la estructura de riesgo del conjunto del país.

a. Sistema natural

El sistema natural constituye el **núcleo ecológico de la resiliencia territorial** y el soporte esencial de los sistemas productivos y sociales. Sin embargo, es también el más directamente expuesto a los cambios del clima, pues sus procesos dependen de manera inmediata de la temperatura, la precipitación y la dinámica hidrológica. Los resultados muestran una intensificación de las presiones sobre los ecosistemas y un riesgo creciente de **pérdida de funcionalidad y de servicios ambientales**.

En el ámbito del **agua y los recursos hídricos**, las tendencias observadas y proyectadas confirman un descenso progresivo en la disponibilidad de recursos y una mayor frecuencia de episodios extremos. Las **sequías prolongadas** y la **reducción de las precipitaciones** limitan la capacidad de recarga de acuíferos y embalses, mientras que la **torrencialidad creciente** incrementa el riesgo de inundaciones fluviales y pluviales. Estos fenómenos ponen en tensión la seguridad hídrica de los principales usos (agrícola, urbano, industrial y energético) y configuran uno de los **riesgos clave de mayor urgencia** de todo el conjunto sectorial. La vulnerabilidad es especialmente alta en las cuencas del sur y este peninsular, donde la competencia por el agua y la sobreexplotación de acuíferos agravan los efectos del cambio climático.

Los impactos sobre el **patrimonio natural y la biodiversidad** son igualmente significativos. El incremento de la temperatura, la alteración del régimen de lluvias y la fragmentación de hábitats están provocando **cambios en la distribución de especies**, pérdida de hábitats favorables y disfunciones en procesos ecológicos clave como la polinización o la migración. Los ecosistemas acuáticos y los espacios protegidos del arco mediterráneo y de Canarias se identifican como especialmente vulnerables. La pérdida de biodiversidad se traduce, además, en una merma de servicios ecosistémicos esenciales (regulación del ciclo del agua, fertilidad de suelos, captura de carbono o provisión de bienes naturales), afectando de forma directa al bienestar humano y a sectores dependientes como la agricultura o el turismo.

El **sector forestal** refleja una dinámica compleja, donde la expansión de la superficie arbolada convive con un aumento de los riesgos de degradación. El **estrés hídrico**, la **proliferación de plagas** y la **frecuencia creciente de incendios forestales** están modificando la composición y estructura de los bosques, reduciendo su capacidad de almacenamiento de carbono y aumentando la erosión del suelo. La desertificación, particularmente en el sureste peninsular, se consolida como uno de los procesos más graves y de **menor reversibilidad**. Estos fenómenos tienen repercusiones directas sobre los sectores productivos que dependen del monte, sobre la gestión de los recursos hídricos y sobre el mantenimiento de los sumideros naturales de carbono.

En conjunto, el sistema natural se caracteriza por **una urgencia alta y un nivel de confianza elevado**, al tratarse de impactos observables y respaldados por una amplia evidencia científica. La pérdida de resiliencia ecológica actúa como un multiplicador de riesgos para los sistemas humano-productivos, estableciendo un vínculo directo entre la degradación ambiental y la estabilidad económica y social.

b. Sistema productivo

El sistema productivo español, que integra los sectores de la agricultura, las costas y el medio marino, la energía, la movilidad, la industria y el turismo, combina **una elevada exposición física** con **una alta sensibilidad económica** a los cambios climáticos. Los riesgos asociados a este bloque son heterogéneos, pero comparten un rasgo común: la dependencia estructural de recursos naturales cada vez más escasos y la necesidad de infraestructuras resilientes.

En la **agricultura, la ganadería y la pesca**, el cambio climático se manifiesta a través de la **reducción del rendimiento agrario**, la **pérdida de suelo fértil** y el **incremento de la variabilidad interanual de las cosechas**. Las sequías más prolongadas, el estrés térmico y la alteración de los ciclos fenológicos amenazan la seguridad alimentaria y los medios de vida rurales. Las regiones del sur y centro peninsular concentran los impactos más severos, mientras que los sistemas de regadío y las explotaciones dependientes de agua superficial son especialmente vulnerables. El riesgo de pérdidas económicas en el sector primario tiene implicaciones directas sobre el sistema financiero y el empleo rural.

En el **ámbito costero y marino**, los resultados confirman una **alta exposición física y ecológica**. El aumento del nivel del mar, la erosión litoral y la intensificación de temporales provocan una pérdida sostenida de superficie emergida y daños en infraestructuras, puertos y zonas urbanas litorales. La **acidificación del océano** compromete la integridad de hábitats marinos y la productividad pesquera, con efectos en cascada sobre la economía costera. Las costas mediterráneas, los deltas y los archipiélagos presentan la **mayor vulnerabilidad** del sistema, y se consideran áreas prioritarias para la acción preventiva y la restauración ecológica.

El **sector energético**, por su carácter transversal, es uno de los nodos críticos de la red de riesgos. La combinación de **menor disponibilidad hídrica**, **altas temperaturas** y **picos de demanda** compromete simultáneamente la generación, la distribución y el consumo energético. Las proyecciones apuntan a descensos en la producción hidroeléctrica, pérdidas de eficiencia en las redes eléctricas por sobrecalentamiento y un aumento del consumo eléctrico durante las olas de calor. Estos impactos generan vulnerabilidades sistémicas y requieren una planificación que integre adaptación y transición energética, reforzando la seguridad de suministro y la gestión flexible de la demanda.

Los sectores de **movilidad, transporte, industria y servicios** comparten riesgos asociados a la **exposición de infraestructuras críticas** y a la **interrupción de cadenas logísticas**. Los eventos extremos (i.e.: inundaciones, calor intenso o viento fuerte) pueden provocar disrupciones temporales en la movilidad de personas y mercancías, daños estructurales y pérdidas de eficiencia productiva. Aunque estos riesgos presentan una **urgencia moderada**, su carácter transversal los convierte en factores amplificadores de vulnerabilidades en otros sectores, como la energía y el comercio.

El **turismo**, por su parte, representa un caso paradigmático de sensibilidad climática. Las **olas de calor** y la **pérdida de confort térmico** reducen la afluencia en destinos interiores y urbanos durante el verano, mientras que la degradación de los recursos naturales y costeros compromete la competitividad de los destinos de sol y playa. El riesgo de enfermedades transmitidas por vectores y el deterioro del paisaje refuerzan esta tendencia. Aunque parte del sector está diversificando su oferta y extendiendo la temporada, la exposición global sigue siendo alta, especialmente en las regiones mediterráneas e insulares.

El conjunto del sistema productivo combina **una urgencia significativa y un nivel de confianza alto**, al basarse en evidencias empíricas robustas y en observaciones recientes.

La adaptación en este bloque requerirá medidas integradas que combinen eficiencia de recursos, innovación tecnológica y gestión territorial coordinada con los sistemas natural y social.

c. Sistema social e institucional

El sistema social-institucional concentra los impactos que afectan directamente al **bienestar, la salud y la cohesión de la población**, así como a la estabilidad de las estructuras económicas y de gobernanza. El cambio climático no solo constituye un riesgo ambiental, sino también un **desafío social y distributivo**, que acentúa las desigualdades existentes y pone a prueba la capacidad de respuesta institucional.

El ámbito de la **salud** es uno de los más afectados y de mayor urgencia. El aumento de las temperaturas y la frecuencia de olas de calor incrementan la **morbimortalidad asociada al estrés térmico**, especialmente en población mayor, trabajadores expuestos y colectivos vulnerables. A ello se suman los riesgos sanitarios vinculados a la **contaminación atmosférica** y a la expansión de **enfermedades vectoriales** (como dengue o virus del Nilo), cuyo rango geográfico se amplía hacia el norte peninsular. Estos impactos requieren una integración de la vigilancia climática en los sistemas de salud pública y en los protocolos laborales y urbanos.

El **sistema financiero y asegurador** se enfrenta a una doble exposición: por un lado, a los **riesgos físicos** derivados de daños directos en activos, infraestructuras o cultivos; y por otro, a los **riesgos de transición** asociados a cambios regulatorios y revalorización de activos. Las pérdidas por eventos extremos, junto con el incremento de las indemnizaciones aseguradoras y la posible desvalorización de inversiones sensibles al clima, configuran un panorama de vulnerabilidad creciente, aunque aún con niveles medios de confianza en las proyecciones.

El **patrimonio cultural** se ve afectado por la **degradación de materiales** y la **exposición a inundaciones o erosión**, lo que implica no solo pérdidas materiales, sino también de identidad colectiva y atractivo turístico. Estos impactos subrayan la necesidad de integrar la adaptación climática en la gestión patrimonial y urbanística.

En el ámbito de la **paz, la seguridad y la cohesión social**, el cambio climático actúa como **multiplicador de tensiones**. Los efectos combinados de sequías, pérdidas agrícolas y presión sobre los recursos pueden agravar las desigualdades territoriales y generar conflictos por el acceso al agua o la energía. Asimismo, se prevé un aumento de los desplazamientos internos vinculados a la degradación ambiental y a la pérdida de habitabilidad en zonas rurales o costeras.

Por último, las **ciudades y los entornos urbanos** concentran gran parte de la exposición del sistema: altas densidades de población, infraestructuras críticas y elevados niveles de impermeabilización. El **efecto isla de calor**, el riesgo de **inundaciones urbanas** y la presión sobre los servicios básicos plantean desafíos estructurales para la planificación urbana y la edificación. Sin embargo, estos entornos ofrecen también las mayores oportunidades para implementar soluciones basadas en la naturaleza y sistemas de alerta temprana.

En su conjunto, el sistema social-institucional presenta **una urgencia alta y una confianza media-alta**, con impactos inmediatos en salud y cohesión, y efectos indirectos sobre la economía y la gobernanza. La adaptación en este bloque exigirá políticas inclusivas, sensibles a la desigualdad territorial, y una coordinación más estrecha entre los ámbitos social, sanitario y ambiental.

4.3. Síntesis general

Los resultados sectoriales de la ERICC-2025 muestran un **sistema de riesgos climáticos fuertemente interdependiente**, donde las disfunciones ecológicas, productivas y sociales se retroalimentan y amplifican mutuamente. La vulnerabilidad de los sectores naturales (agua, bosques, biodiversidad) repercute directamente sobre la estabilidad del sistema productivo y, en última instancia, sobre la cohesión social.

5. Análisis de riesgos complejos

La **ERICC-2025** adopta un enfoque sistémico para comprender cómo los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino como parte de una **red interdependiente de impactos** que se amplifican y retroalimentan entre sí. Este análisis constituye uno de los avances metodológicos más relevantes del estudio, ya que, junto al análisis dentro de cada uno de los capítulos sectoriales, permite identificar **efectos en cascada**, **vulnerabilidades compartidas** y **puntos de fallo críticos** dentro del sistema socioecológico y económico español.

Los **51 riesgos clave (RC)** identificados en la evaluación se han representado mediante un **modelo de riesgos complejos**, donde cada riesgo se concibe como un nodo y las relaciones entre ellos como conexiones ponderadas según su intensidad y dirección.

Este modelo, elaborado con metodologías de **análisis de grafos**, permite visualizar las dependencias funcionales entre sectores y cuantificar la centralidad de cada nodo, es decir, su capacidad de generar o recibir impactos. El análisis de riesgos complejos junto con los análisis individuales de cada sector presenta una estructura de riesgo **altamente interconectada**.

Como se ha mencionado, el análisis de riesgos complejos constituye una fase fundamental del proyecto, desarrollada mediante un enfoque participativo. Uno de los aspectos más destacados ha sido la amplia implicación de agentes procedentes de diversos ámbitos, lo que ha permitido incorporar múltiples perspectivas. Esta diversidad ha sido clave para enriquecer el análisis y fortalecer tanto la validez como la robustez de los resultados obtenidos.

Con el objetivo de analizar la dinámica y relevancia de cada riesgo dentro del sistema, se calculan diversas métricas que permiten caracterizar su comportamiento e interacciones:

- **Grado de salida**: indica los riesgos con mayor capacidad de generar impactos sobre otros elementos del sistema.
- **Grado de entrada**: identifica aquellos riesgos más vulnerables a influencias externas.
- **Centralidad de cercanía**: refleja la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema, considerando la distancia en la red de interdependencias.

- **Centralidad de intermediación**: señala los riesgos que actúan como nodos puente en la propagación de efectos, desempeñando un papel crítico en la conectividad del sistema.

A continuación, se presentan algunas de las conclusiones más relevantes en relación con el **grado de entrada** y el **grado de salida** de los riesgos analizados:

5.1. Grado de salida

En este análisis el **grado de salida** se refiere a la capacidad de un riesgo de generar o amplificar otros riesgos dentro del sistema, actuando como un impulsor o propagador de impactos. Los riesgos con alto grado de salida tienen un papel estructural en la dinámica del sistema de riesgos, y su gestión puede tener efectos multiplicadores positivos.

Los riesgos con mayor grado de salida son aquellos que desencadenan múltiples impactos en cascada, afectando tanto sectores económicos como sistemas ecológicos y sociales. Su gestión prioritaria puede reducir significativamente la exposición sistémica:

- **Los daños debidos a sequías extremas prolongadas** destacan por su **potencial de activar más de 26 riesgos clave**. Entre ellos se encuentran la pérdida de servicios ecosistémicos y la reducción de disponibilidad hídrica para para diferentes usos y demandas.

- **Los daños por inundaciones pluviales y fluviales** son un impulsor de **18 riesgos clave** entre los que se encuentran riesgos esenciales en la vida de las personas como la destrucción o degradación de medios de vida, alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones o a daños sobre infraestructuras críticas o daños en infraestructuras de transporte y en la circulación.

- La **pérdida global de biodiversidad** se configura como un riesgo de alto grado de salida, resultado de la acumulación de impactos derivados del cambio climático en múltiples niveles (pérdida de diversidad genética, específica y de ecosistemas). Este riesgo repercute directamente en 17 riesgos clave, entre los que destaca la **degradación de los servicios ecosistémicos**.

- La **pérdida o degradación de servicios ecosistémicos** por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas a su vez actúa como un impulsor de impactos sectoriales significativos. Entre los efectos más relevantes

se encuentran la **disminución de la productividad agraria, la pérdida de capacidad de los ecosistemas forestales para absorber y almacenar carbono, y la alteración de procesos ecológicos esenciales como la polinización**.

5.2. Grado de entrada

El **grado de entrada** refleja el nivel de **dependencia de un riesgo respecto a otros** dentro del sistema. Los riesgos con alto grado de entrada reciben influencia de múltiples riesgos, lo que los convierte en **puntos críticos de acumulación de impactos**. Identificarlos permite anticipar posibles **puntos de colapso** o acumulación de tensiones, y es clave para diseñar estrategias eficaces de **adaptación y resiliencia**.

Entre los riesgos con mayor grado de entrada destacan:

- **Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia** (grado de entrada: 29), que refleja una alta vulnerabilidad frente a múltiples peligros climáticos, especialmente en contextos sociales y económicos frágiles.

- **Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, energía o alimentos**, así como por daños en infraestructuras críticas (grado de entrada: 20). Este riesgo, perteneciente al sector de paz, seguridad y cohesión social, es altamente sensible a impactos en cascada.

- En el ámbito urbano, el **riesgo de alteraciones graves en el suministro de servicios básicos** (agua, energía, comunicaciones) por eventos extremos como inundaciones, sequías o temperaturas extremas presenta un grado de entrada de 14. Además, actúa como **transmisor de impactos**, con un grado de salida de 13, lo que lo convierte en un nodo doblemente relevante.

- El **riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos** por alteraciones en la funcionalidad de los ecosistemas tiene un grado de entrada de 17, además de un alto grado de salida (16), lo que lo posiciona como un **nodo estratégico** en la red de riesgos.

- En el sector financiero, destacan riesgos como la **corrección de precios de activos** y la **reducción de la actividad financiera** por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por eventos climáticos extremos, con grados de entrada de 22 y 19 respectivamente. Ambos actúan como receptores de impactos sistémicos.

- Sectores como el **turismo** también se identifican como importantes **receptores de impactos climáticos**, especialmente por su dependencia de condiciones ambientales estables y de infraestructuras sensibles.

5.3. Gestión integrada y sistémica

El análisis de los riesgos asociados al cambio climático desde una perspectiva de riesgos complejos, utilizando teoría de grafos, ha permitido obtener una **visión estructural y relacional** del sistema de riesgos. Los resultados señalan una red altamente interconectada que refuerza la necesidad de adoptar enfoques de **gestión integrados y sistémicos**, que consideren no solo los riesgos individuales, sino también sus interacciones y efectos en cascada.

Adicionalmente, el análisis de los riesgos complejos de forma particular permite también informar las políticas y los agentes que estén interesados en un **riesgo en concreto** y quieran conocer qué riesgos les pueden **afectar directamente** o aquellos a los que pueden afectar.

6. Priorización de políticas y medidas de adaptación

La **ERICC-2025** propone un marco integrado de priorización de la acción climática basado en tres dimensiones complementarias: **urgencia temporal**, **nivel de conocimiento y seguimiento**, y **modalidad de gestión**. Este enfoque, que articula la evidencia científica con los requerimientos de planificación del **PNACC 2026-2030**, permite identificar dónde concentrar los esfuerzos públicos y qué riesgos exigen una respuesta inmediata, un refuerzo del conocimiento o una coordinación intersectorial avanzada.

6.1. Dimensión de urgencia

La primera dimensión evalúa la **necesidad temporal de intervención**, combinando tres factores: la severidad del impacto esperado, la inminencia del riesgo y la capacidad de recuperación. El resultado de esta evaluación permite distinguir entre riesgos de **urgencia máxima**, **significativa** o **limitada**, proporcionando una base para la secuenciación de políticas y medidas en el corto y medio plazo.

La ERICC-2025 identifica **13 riesgos con urgencia máxima**, que requieren **intervención inmediata y priorización en la toma de decisiones**, dada la inminencia, probabilidad y severidad de sus impactos. Estos riesgos se concentran en los ámbitos de **Salud humana, Agua y recursos hídricos, Patrimonio natural, Ciudad y Paz-Seguridad-Cohesión social**, y reflejan las áreas donde el cambio climático ya está produciendo efectos tangibles o donde la ventana de oportunidad para actuar es estrecha. Entre ellos destacan los vinculados al aumento de la morbimortalidad por calor y contaminación, las sequías e inundaciones extremas, la pérdida de biodiversidad, los daños urbanos por eventos hidrometeorológicos severos y los riesgos sociales derivados de la interrupción de suministros críticos.

Además, **31 riesgos presentan una urgencia significativa**, lo que implica la necesidad de **planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano**, mientras que **7 riesgos muestran una urgencia limitada**, vinculados a procesos de manifestación más lenta o con mayor capacidad de gestión sectorial.

En conjunto, esta dimensión orienta la priorización temporal de la adaptación, identificando los ámbitos donde las medidas deben ser anticipatorias, preventivas y de alto impacto.

6.2. Dimensión de seguimiento

La segunda dimensión considera el **nivel de confianza en la evidencia disponible** y la necesidad de **seguimiento o investigación adicional**. Esta evaluación distingue tres grados: **seguimiento avanzado**, **intermedio** y **básico**, según la robustez de los datos, la coherencia metodológica y la complejidad del fenómeno analizado.

Se han identificado **18 riesgos que requieren seguimiento avanzado**, localizados principalmente en los ámbitos de **Ciudad y urbanismo, Patrimonio cultural, Energía, Transporte, Industria y servicios, Turismo, Sistema financiero y asegurador, y Paz-Seguridad-Cohesión social**. Estos riesgos presentan **altas incertidumbres o una complejidad elevada**, por lo que demandan un **mayor esfuerzo en investigación aplicada, recopilación de datos y observación continua**. Los déficits de información afectan tanto a la caracterización de los impactos como a la cuantificación de las interdependencias entre sectores (por ejemplo, la relación entre calor extremo y productividad laboral, o los efectos financieros de los eventos climáticos extremos).

Otros **24 riesgos requieren un seguimiento intermedio**, lo que implica mantener una vigilancia periódica y desarrollar estudios complementarios en aspectos específicos, mientras que **9 riesgos se consideran suficientemente caracterizados** y solo precisan un seguimiento básico para validar su evolución.

Esta dimensión permite orientar la política científica y de observación climática, vinculando las necesidades de investigación con la gestión del riesgo y con la generación de indicadores para el seguimiento del PNACC y de los informes nacionales a la Unión Europea.

6.3. Dimensión de gestión

La tercera dimensión analiza la **modalidad de gobernanza necesaria** para gestionar cada riesgo, diferenciando entre **gestión sectorial** y **gestión coordinada**. Mientras que algunos riesgos pueden abordarse desde políticas específicas de un ámbito concreto, otros requieren **estructuras de decisión compartidas, planificación conjunta y cooperación entre sectores y niveles administrativos**.

En total, se han identificado **24 riesgos que precisan gestión coordinada del riesgo**, distribuidos en la mayoría de los ámbitos, pero con especial peso en **Agua y recursos hídricos, Patrimonio natural, Forestal, Agricultura, Ciudad y Sistema financiero y asegurador**. Estos riesgos se caracterizan por su **alta interconectividad** y por la necesidad de integrar políticas ambientales, económicas y sociales.

Por ejemplo, la gestión de las sequías extremas exige la coordinación entre autoridades del agua, energía y agricultura; los riesgos sobre biodiversidad requieren la alineación de políticas de conservación y ordenación territorial; y los impactos financieros derivados de eventos climáticos requieren mecanismos de gobernanza que vinculen al sector asegurador con la planificación pública.

Los **27 riesgos restantes pueden gestionarse principalmente a nivel sectorial**, si bien manteniendo mecanismos mínimos de coordinación para evitar efectos de maladaptación o trasvase de vulnerabilidades entre ámbitos.

6.4. Riesgos con prioridades múltiples y visión integrada

El cruce de las tres dimensiones (urgencia, seguimiento y gestión) permite identificar los riesgos que concentran **prioridades múltiples**, es decir, aquellos que presentan simultáneamente alta urgencia, baja confianza en la información y elevada interdependencia con otros sectores.

La ERICC-2025 identifica **14 riesgos en esta categoría**, distribuidos en los ámbitos de **Agua y recursos hídricos, Patrimonio natural, Ciudad-urbanismo, Industria y servicios, Sistema financiero y asegurador, y Paz-Seguridad-Cohesión social**. Estos casos representan los **núcleos estratégicos de la adaptación nacional**, donde la actuación temprana, el refuerzo del conocimiento y la gobernanza transversal son esenciales para evitar impactos sistémicos y pérdidas irreversibles.

6.5. Orientaciones estratégicas para la acción

La combinación de estas tres dimensiones permite establecer un **marco operativo de priorización para el periodo 2026-2030**, que contemple los siguientes aspectos:

1. **Actuar de forma inmediata** sobre los riesgos de urgencia máxima, reforzando la prevención y la resiliencia en los sectores críticos de salud, agua, ecosistemas, ciudad y cohesión social.

2. **Invertir en conocimiento y observación**, priorizando los riesgos con seguimiento avanzado mediante programas de investigación aplicada y sistemas de monitorización integrados.

3. **Impulsar la gobernanza coordinada** en los riesgos de alta complejidad, creando espacios estables de cooperación intersectorial y fortaleciendo la capacidad institucional para la gestión compartida del riesgo.

4. **Sincronizar la acción nacional con los marcos europeos**, asegurando la coherencia con la **Evaluación Europea de Riesgos Climáticos (EUCRA)**, **EIONET** y **Climate-ADAPT**.

En conjunto, la priorización de la **ERICC-2025** proporciona una base robusta para orientar la política de adaptación de España en la próxima década. Este enfoque tridimensional (urgencia, seguimiento y gestión) permite pasar de una evaluación diagnóstica a una **agenda estratégica de acción climática**, que refuerza la resiliencia de los sistemas naturales, productivos y sociales y consolida a España como un referente europeo en la gestión integrada del riesgo climático.

7. Conclusiones estratégicas

La **Evaluación Nacional de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)** constituye el ejercicio más exhaustivo realizado hasta la fecha para comprender cómo el cambio climático afecta, de forma simultánea y sistémica, a los sistemas naturales, productivos y sociales del país. Sus resultados ofrecen una visión integrada del riesgo climático, articulada sobre tres pilares: **el diagnóstico científico**, **la interdependencia entre sectores** y **la orientación estratégica hacia la acción**.

7.1. Principales hallazgos agregados

El análisis confirma que **España se enfrenta a un sistema de riesgos climáticos altamente interconectado**, donde los impactos físicos, ecológicos y socioeconómicos se amplifican mutuamente. Los sectores más expuestos (agua, agricultura, costas, patrimonio natural y forestal) sufren presiones directas por la intensificación de sequías, olas de calor, pérdida de biodiversidad y aumento del nivel del mar. A su vez, estos impactos repercuten en la energía, el turismo, la salud y la cohesión social, generando **efectos en cascada** que comprometen el bienestar, la seguridad y la estabilidad económica.

7.2. Sectores y territorios más vulnerables

La vulnerabilidad territorial presenta una clara **gradiente latitudinal y climática**. Las regiones **mediterráneas y del sur peninsular** concentran los mayores riesgos asociados a la escasez hídrica, la desertificación y las olas de calor, mientras que los **archipiélagos y zonas litorales bajas** son especialmente sensibles a la subida del nivel del mar y a la erosión costera. El **interior continental** se caracteriza por una alta exposición a extremos térmicos y una capacidad de adaptación desigual, condicionada por la disponibilidad de recursos, la densidad de población y la estructura socioeconómica.

Desde el punto de vista sectorial, los **sistemas naturales** (agua, bosques, biodiversidad) son los más afectados por la intensificación de los peligros físicos; los **sistemas productivos** (agricultura, energía, turismo, industria) sufren impactos crecientes por la dependencia de esos recursos; y

los **sistemas sociales e institucionales** (salud, finanzas, cohesión) concentran las consecuencias indirectas, amplificando desigualdades y tensiones territoriales.

7.3. Conclusiones adicionales

El análisis de interdependencias a lo largo de los distintos capítulos sectoriales muestra que el sistema nacional de riesgos climáticos funciona como una **red densa**. En ella, los impactos directos en un sector pueden desencadenar efectos secundarios en varios más. Estos **efectos en cascada** describen cómo un impacto inicial provoca una serie de consecuencias en distintos sectores o escalas. La ERICC-2025 identifica **interdependencias críticas** por su alto grado de conectividad y por su capacidad de amplificar los impactos. A continuación, se presentan tres ejemplos significativos.

El **ámbito del agua y recursos hídricos** emerge como un **nodo central y catalizador de vulnerabilidades**, dada su relación directa con los sistemas natural, productivo y social. La reducción de recursos hídricos, por ejemplo, no solo afecta a la agricultura y a la generación hidroeléctrica, sino también a la refrigeración de instalaciones industriales, al suministro urbano y a la salud pública, configurando un efecto dominó que puede comprometer simultáneamente la producción de alimentos, la estabilidad energética y el bienestar humano.

Otro ejemplo de interdependencia significativa se centra en el **impacto combinado del calor extremo sobre la salud, la energía y la productividad laboral**. Durante episodios de calor intenso, los sistemas sanitarios y laborales se enfrentan a un aumento de la demanda y a una menor capacidad de respuesta, con efectos sobre la morbilidad y la mortalidad, especialmente en los **colectivos más vulnerables**. Las olas de calor prolongadas aumentan el consumo eléctrico para refrigeración, presionando la capacidad del sistema energético justo cuando su eficiencia es menor. El incremento de la demanda coincide con picos de contaminación atmosférica y pérdida de productividad en sectores con trabajo al aire libre o en entornos urbanos densos. Esto produce pérdidas económicas, saturación de los servicios de salud y mayor exposición de las personas trabajadoras más vulnerables. A largo plazo, la persistencia de estos eventos **altera la organización del trabajo y el comportamiento social**, requiriendo medidas estructurales en salud laboral, diseño urbano y gestión energética.

Un tercer ejemplo se encuentra en el ámbito litoral. La **subida del nivel del mar**, los **temporales extremos** y la **erosión costera** generan un conjunto de impactos encadenados que afectan al turismo, la economía local y las infraestructuras críticas. Los daños en playas, paseos marítimos, puertos y áreas urbanas reducen la calidad del destino turístico, provocan pérdidas económicas y alteran los patrones de ocupación del territorio. A su vez, la degradación de ecosistemas costeros como dunas y marismas

reduce la capacidad de protección natural frente a temporales, agravando los impactos futuros. El coste de la recuperación se traslada al sistema financiero y a los presupuestos públicos, cerrando un ciclo de vulnerabilidad acumulativa. Este complejo es uno de los ejemplos más claros de cómo los **riesgos físicos y económicos se entrelazan**, y de la necesidad de **planificar la adaptación costera con criterios integrados** de conservación, urbanismo y economía.

Las interdependencias entre estos tres ejemplos constituyen la **columna vertebral de la red de riesgos**, y reflejan una retroalimentación negativa, donde cada componente amplifica la vulnerabilidad de los otros. A partir de ellos se estructuran diversos **subsistemas de interacción** que agrupan al resto de sectores en cadenas de impacto específicas, cada una con dinámicas propias y diferentes niveles de urgencia.

Más allá de las cadenas principales, el análisis evidencia la existencia de **retroalimentaciones cruzadas** que amplifican la magnitud del riesgo. Por ejemplo, la pérdida de cobertura vegetal por incendios forestales reduce la infiltración y aumenta la escorrentía, elevando el riesgo de inundaciones. A su vez, las inundaciones dañan infraestructuras eléctricas y de transporte, generando interrupciones en el suministro y en la actividad económica.

Del mismo modo, la degradación de los ecosistemas naturales disminuye la capacidad de absorción de carbono, lo que contribuye a un **aumento adicional de las concentraciones de gases de efecto invernadero** y refuerza el ciclo del cambio climático. Este tipo de retroalimentaciones complejas exige enfoques de **gobernanza adaptativa**, que integren la gestión ambiental con la planificación económica y territorial.

Los efectos no lineales también se manifiestan en la **dimensión social**. Los impactos acumulativos sobre salud, renta o empleo tienden a aumentar la desigualdad y a reducir la capacidad de adaptación de los grupos más vulnerables, creando un bucle de **vulnerabilidad reforzada**. Por ello, la ERICC-2025 subraya que la adaptación no puede abordarse únicamente desde la gestión sectorial, sino desde una **visión sistémica e inclusiva**, donde la reducción de vulnerabilidades sociales sea parte integral de la política climática.

7.4. Representación del sistema de riesgos y prioridades estratégicas

La red de interdependencias identificada muestra que los riesgos se tienen que analizar en contexto **de sistema nacional de riesgos climáticos**, donde peligros y riesgos se conectan con subsistemas de segundo orden (p. ej. agricultura, turismo, costas, transporte, finanzas) y con un conjunto de sectores de soporte (p. ej. gobernanza, cohesión social). Esto muestra que los nodos más influyentes no siempre son los más expuestos, sino aquellos cuya alteración puede generar los mayores efectos indirectos.

Esto confirma la necesidad de priorizar medidas de adaptación **en función de su capacidad de prevenir impactos en cascada**, no solo de su exposición directa.

Entre las conclusiones operativas más destacadas figuran:

- La importancia de fortalecer la **gestión integrada del ciclo del agua** como eje de seguridad hídrica, energética y alimentaria.
- La necesidad de incorporar la **resiliencia climática en la planificación energética y urbana**, para reducir la propagación de impactos intersectoriales.
- El papel estratégico de las **Solucionadas en la Naturaleza (SbN)** y la restauración de ecosistemas como infraestructuras preventivas frente a riesgos compuestos.
- La urgencia de desarrollar **sistemas de información y alerta temprana intersectoriales**, que permitan anticipar efectos en cadena y activar respuestas coordinadas.

En conjunto, la ERICC-2025 demuestra que el cambio climático debe entenderse como un **riesgo sistémico**, capaz de afectar de manera simultánea a múltiples sectores y escalas. Su gestión requiere superar los enfoques lineales y avanzar hacia una **planificación integrada de la adaptación**, que refuerce la resiliencia del conjunto del país a través de la cooperación entre sectores, territorios e instituciones.

7.5. Ámbitos de conocimiento y acción a reforzar

La evaluación identifica **vacíos de información y capacidades** que deben ser abordados para mejorar la precisión y eficacia de la política de adaptación.

En particular, se requiere:

- **Reforzar la observación y monitorización climática**, especialmente en los sectores con *seguimiento avanzado* (energía, transporte, patrimonio cultural, turismo y finanzas).
- **Desarrollar indicadores homogéneos** que permitan evaluar la evolución del riesgo, la eficacia de las medidas y la coherencia con los marcos europeos e internacionales.
- **Promover la investigación interdisciplinar**, integrando ciencias físicas, sociales y económicas, para comprender mejor las interdependencias y los efectos no lineales de los impactos climáticos.
- **Fortalecer la capacidad institucional** de coordinación y gobernanza del riesgo, vinculando la adaptación climática con la planificación territorial, urbana y económica.

La ERICC-2025 subraya que el conocimiento no debe ser solo acumulativo, sino operativo: debe traducirse en instrumentos de decisión, en sistemas de alerta temprana y en mecanismos de evaluación periódica de la eficacia de las políticas.

7.6. Relevancia para la política de adaptación

Los hallazgos de la ERICC-2025 constituyen el punto de partida técnico para para la **planificación del Programa de Trabajo 2026-2030 del PNACC** y su articulación con las estrategias europeas de resiliencia climática.

La evaluación proporciona una **jerarquización clara de prioridades** (basada en las dimensiones de urgencia, seguimiento y gestión) que permite orientar los recursos hacia los riesgos más críticos y las áreas de mayor efecto multiplicador.

Los resultados de la ERICC pueden aportar información relevante y criterios con base científica para avanzar en los siguientes aspectos:

1. **Adoptar la adaptación como política estructural**: no solo como una respuesta sectorial o ambiental, sino también como un eje transversal de la política económica, urbana y social.

2. **Actuar de manera preventiva** frente a los riesgos de urgencia máxima, reforzando las medidas estructurales en salud, agua, ecosistemas, costas y cohesión social.

3. **Impulsar la gobernanza multinivel y la coordinación intersectorial**, integrando la gestión del riesgo climático en las decisiones financieras, de planificación y desarrollo regional.

4. **Fomentar las soluciones basadas en la naturaleza y la resiliencia territorial**, aprovechando su capacidad de reducir riesgos, mejorar la calidad ambiental y generar beneficios socioeconómicos.

5. **Alinear las políticas nacionales** con los marcos europeos e internacionales, garantizando la coherencia metodológica y la interoperabilidad de datos.

2025

ericc

Spain's Climate Change Risks and Impacts Assessment

Executive summary

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Title

Spain´s Climate Change Risks and Impacts Assessment (ERICC-2025)

2025 Edition

Technical assistance

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordination

Spanish Climate Change Office (OECC): Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Biodiversity Foundation (FB): Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

With the collaboration of Fundación Biodiversidad.

Author of the chapter

Javier Lopez Lara

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Published: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Editing and layout

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

LEGAL NOTICE: the contents of this publication may be reused provided that the source and, where appropriate, the date of the most recent update are cited.

This report should be cited as:

Lara, J.L. (2025). Executive Summary. In Losada, I.J., Feliu, E. and Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Introduction and purpose of the report / pág. 51

1.1. Legal and strategic context / pág. 52

1.2. Main objectives of ERICC-2025 / pág. 52

1.3. Spatial and temporal scope of the assessment / pág. 53

1.4. Links with European and international frameworks / pág. 54

2. Conceptual and methodological framework / pág. 55

2.1. Multi-criteria approach for identifying relevant and key risks / pág. 56

2.2. Complex Risks and interdependencies analysis / pág. 56

2.3. Urgency criteria / pág. 57

2.4. Confidence level and recommended monitoring / pág. 57

2.5. Cross-reference to methodological annexes / pág. 58

3. Observed climate evolution and future projections / pág. 59

3.1. Observed climate trends / pág. 59

3.2. Climate projections for the twenty-first century / pág. 60

3.3. Compound extreme events and cascading effects / pág. 61

3.4. Regionalisation: differentiated patterns by bioclimatic areas / pág. 62

3.5. Connection with the "Climate variables" chapter / pág. 62

4. Results of the risk assessment / pág. 63

4.1. General overview / pág. 63

4.2. Synthetic sectoral results / pág. 64

4.3. General synthesis / pág. 68

5. Complex Risks and Interdependencies analysis / pág. 69

5.1. Out-degree / pág. 70

5.2. In-degree / pág. 71

5.3. Integrated and systemic management / pág. 72

6. Prioritisation of policies and adaptation measures / pág. 73

6.1. Urgency dimension / pág. 73

6.2. Monitoring dimension / pág. 74

6.3. Management dimension / pág. 74

6.4. Multi-priority risks and integrated vision / pág. 75

6.5. Strategic orientations for action / pág. 75

7. Strategic conclusions / pág. 77

7.1. Main aggregated findings / pág. 77

7.2. Most vulnerable sectors and territories / pág. 77

7.3. Additional conclusions / pág. 78

7.4. Representation of the risk system and strategic priorities / pág. 80

7.5. Knowledge and action areas to be strengthened / pág. 81

1. Introduction and purpose of the report

Spain´s Climate Change Risks and Impacts Assessment *(Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España)* **ERICC-2025** constitutes the first comprehensive national-scale exercise aimed at **identifying, characterising and prioritising the climate-related risks** that affect the country's natural, productive and social systems. Its purpose is to provide a **sound scientific and methodological basis** to guide the planning of public adaptation policies, climate-risk management and the integration of the climate variable into strategic decision-making.

The development of ERICC-2025 fulfils **Article 18 of Law 7/2021 of 20 May on Climate Change and Energy Transition**, which establishes the obligation to carry out periodic assessments of climate impacts and risks at least every five years.

This assessment is an essential step in the adaptation-policy cycle and is key to implementing the **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC)**, the main planning instrument promoting coordinated and coherent action in response to the effects of climate change in Spain. Within this context, ERICC-2025 plays a fundamental role in knowledge generation – one of the strategic components of the PNACC – by operationalising the assessment of climate risk. It also constitutes the technical reference underpinning the forthcoming **2026-2030 work programme**, which will focus on implementing sectoral and territorial adaptation measures.

The report was prepared between 2023 and 2025 by a **scientific-technical consortium comprising the Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IH Cantabria)**, **Tecnalia Research & Innovation and the Basque Centre for Climate Change (BC3)**, under the coordination of the OECC and with the collaboration of **Fundación Biodiversidad**. The process entailed an extensive scientific and technical review, as well as the participation of experts and organisations from diverse sectoral fields, thereby ensuring traceability, consistency and methodological coherence across chapters.

1.1. Legal and strategic context

The legal framework underpinning this assessment is established in **Law 7/2021**, which incorporates the principle of adaptation as a cross-cutting element of public policy and promotes the integration of climate risk into sectoral, territorial and financial planning. In line with Spain's international commitments under the **United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)** and the **Paris Agreement (2015)**, the Law mandates the General Administration of the State to periodically assess climate risks and impacts, identifying the most vulnerable sectors and the priority measures for adaptation.

At the strategic level, ERICC-2025 continues the process initiated with the 2020 national assessment *(Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España)* and updates the analyses in light of **the Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, **the new regionalised climate scenarios** and the scientific and technical advances in observation, modelling and risk management. The study also responds to the guidelines of the **European Union Strategy on Adaptation to Climate Change (2021)** and **the European Green Deal**, which promote climate resilience as a cross-cutting priority for the continent's energy, food and social security.

1.2. Main objectives of ERICC-2025

The key objectives of the assessment are to:

- **Identify and characterise the main climate risks** affecting Spain's natural, productive and social systems, applying a homogeneous and replicable methodological framework.
- **Assess the severity, imminence and recovery capacity** in relation to these risks, determining their urgency for action.
- **Analyse interdependencies among sectors and systems**, identifying complex risks and cascading effects.
- **Establish a scientific basis for the prioritisation of adaptation measures**, guiding the planning of PNACC 2026-2030 and ensuring its coherence with European and international strategies.
- **Strengthen the capacity for monitoring and assessing climate risk** by defining common criteria for future observation and evaluation.

The report synthesises the results of **14 sectoral domains** defined in the PNACC 2021-2030: health, water and hydrological resources, natural heritage and biodiversity, forestry, agriculture and food, coasts and marine environment, energy, mobility and transport, industry and services, tourism, financial system and insurance, cultural heritage, peace-security-social cohesion and city-urban development-building.

Altogether, **141 relevant risks (RR)** and **51 key risks (KR)** were identified, grouped into three major systems: natural, productive and social-institutional.

1.3. Spatial and temporal scope of the assessment

ERICC-2025 has a national territorial scope, with differentiated representations across major **bio-climatic areas** (Atlantic, Mediterranean, Continental and Insular), reflecting the particular exposure and vulnerability conditions of each region.

Although the scale of analysis is aggregated, the report stresses the need to deepen regional and local assessments to design responses suited to specific territorial realities.

The **temporal horizon** of the analysis covers both observed climate evolution (1961-2020) and projections for the twenty-first century under different emission scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5), considering **medium-term (2040-2060)** and **long-term (2080-2100)** outlooks.

This approach makes it possible to identify **observed trends**, project the evolution of key **climate hazards** (e. g. increase in mean temperature, reduced precipitation, heightened aridity, more intense droughts, compound extreme events, sea-level rise and ocean acidification), and to evaluate their interaction with exposure and vulnerability factors.

1.4. Links with European and international frameworks

ERICC-2025 is situated within an **international strategic alignment** framework, adopting the methodological standards of the **IPCC (AR6)** and the **European Climate Risk Assessment** *(EUCRA, 2024)* to ensure **comparability and coherence** with European and international reporting systems.

The study could also help reinforce connections with **EIONET** (the European Environment Information and Observation Network coordinated by the European Environment Agency) and with the **Climate-ADAPT** platform, which hosts harmonised information on climate risks and adaptation measures across Europe. Such interoperability seeks to position Spain as a **European reference in climate risk assessment and management,** thus contributing to the objectives of the **EU Adaptation Strategy** and the **European Green Deal**.

Overall, ERICC-2025 serves as a strategic tool to guide **adaptation planning in Spain** over the coming decade, offering **an integrated vision of climate risk** that combines scientific rigour, methodological coherence and policy applicability. Its dynamic and updatable nature will enhance the resilience of territories, ecosystems and productive sectors in the face of the challenges of the twenty-first century.

2. Conceptual and methodological framework

ERICC-2025 is grounded in the **conceptual framework for climate risk developed by the IPCC** and adopted in its **Sixth Assessment Report (AR6, 2022)**, applied consistently across all sectors analysed.

According to this framework, climate risk results from the interaction of three fundamental components: **hazard**, **exposure** and **vulnerability**.

Hazards refer to climate-related phenomena capable of generating adverse impacts (e. g., heatwaves, prolonged droughts, extreme precipitation events, sea-level rise or ocean acidification). **Exposure** is defined as the presence of people, ecosystems, infrastructure, or economic and cultural assets in locations that may be affected by such phenomena. **Vulnerability** expresses the propensity or predisposition to suffer damage, encompassing both the sensitivity or susceptibility of systems and their capacity for response and adaptation. **Response risks**—those arising from climate-change management strategies, including unforeseen consequences and long-term societal or climatic effects—are analysed as cross-cutting aspects within this assessment.

This framework enables a **systemic and dynamic** analysis of climate-related risks, identifying how the evolution of climate hazards interacts with the social, economic and territorial factors that determine exposure and vulnerability.

2.1. Multi-criteria approach for identifying relevant and key risks

The methodology follows a three-phase process combining scientific review, multi-criteria analysis and expert validation.

1. **Identification of relevant risks (RR):**A thorough review was carried out of scientific literature, technical reports and national and international databases, together with evidence of observed impacts in Spain since 2020. This process established an initial inventory of **relevant risks** for each of the 14 sectoral areas of the PNACC 2021-2030.

2. **Selection of key risks (KR):**From the list of relevant risks, a **Multi-Criteria Analysis (MCA)** was applied using criteria aligned with IPCC standards. Factors considered included the **spatial scope of the risk, the magnitude of its economic or social impact, the potentially affected population, the irreversibility of impacts, the existence of critical thresholds, transboundary effects, cumulative impacts** and the level of **available scientific evidence**.

   The MCA identified a set of **51 key risks** representing phenomena with the highest potential to critically affect Spain's natural, productive and social systems.

3. **Detailed sectoral analysis:** For each key risk, **conceptual risk models and impact chains** were developed, integrating the three risk components (hazard, exposure and vulnerability) and describing interactions among physical, ecological, economic and social factors.Each risk was documented in **standardised analytical sheets**, ensuring methodological traceability across sectors.

This methodological process guarantees **homogeneity, transparency and replicability** of the assessment, allowing periodic updates and application to more detailed territorial or thematic scales.

2.2. Complex Risks and interdependencies analysis

In addition to sectoral analysis, ERICC-2025 develops a **complex risk model** based on graph theory, with the aim of representing and quantifying the **interconnections between the 51 key risks**. This model allows the risk system to be visualised as a **network of interdependencies** where the nodes represent the risks and the edges represent the relationships of influence between them.

The model allows identifying sectors to which the risks having higher direct impact on other risks and sectors, notably **water, natural heritage and forestry**, as well as the sectors most exposed to direct impact from other risks, such as **peace, the financial system and natural heritage**. Finally, also calls the attention about risks with the greatest capacity to propagate cascading effects belong to the **natural heritage, agriculture, peace, water and city sectors**.

Using centrality metrics (**in-degree, out-degree, closeness and betweenness**), the analysis reveals the critical relationships within the system, facilitating the identification of **systemic risks** that require coordinated and cross-cutting adaptation strategies.

This approach addresses the recommendations of the **IPCC AR6** and the **European Climate Risk Assessment (EUCRA)**, which highlight the need to move beyond sectoral approaches to address **compound effects, feedbacks and cross-sectoral dysfunctions**.

2.3. Urgency criteria

The prioritisation of risks within ERICC-2025 relies on three fundamental criteria:

- **Severity**, understood as the potential impacts if a risk materializes on a given scenario.
- **Imminence**, measuring the likelihood that the impact will occur in the short or medium term under plausible climate scenarios.
- **Recovery capacity**, assessing the time and resources required to restore affected functions after an impact, taking into account social, ecological and institutional resilience mechanisms.

These criteria allow the classification of risks into three priority levels—**maximum, significant and limited**—thereby guiding strategic decision-making and resource allocation for adaptation during the forthcoming PNACC (2026-2030) cycle.

2.4. Confidence level and recommended monitoring

Each key-risk assessment includes an estimate of the **confidence level** in the severity and imminence of the impacts, based on the **quality and consistency of available scientific and technical evidence**.

A qualitative scale *(high, medium or low)* indicates data robustness and degree of consensus among sources.

Where information is insufficient, the report recommends **implementing monitoring and improved climate-observation actions**, particularly in sectors with high uncertainty or strong dependence on non-climatic variables such as the **financial system, health or cultural heritage**.

The methodological chapter also sets out guidance for strengthening the **traceability and transparency of knowledge**, including documentation and validation protocols, sectoral indicators and procedures for periodic data updating.

2.5. Cross-reference to methodological annexes

ERICC-2025 is complemented by several **methodological documents**:

- The **Annex of Climate Variables** compiles observed trends and future projections for temperature, precipitation, aridity, sea-level, wave climate and ocean acidification, all integrated into the sectoral risk models.

- The **Multi-Criteria Analysis** details the indicators used for risk prioritisation, the weighting factors assigned by authors to each criterion, together with justification and aggregated sectoral results.

- The **Glossary** harmonises technical concepts in line with the IPCC AR6 framework, ensuring consistent use throughout the sectoral chapters.

Taken together, this conceptual and methodological framework provides a **coherent, verifiable and replicable structure** for assessing climate risks in Spain, integrating the latest scientific evidence with the operational requirements of adaptation planning.

3. Observed climate evolution and future projections

The analysis of climate evolution in Spain constitutes the empirical basis underpinning the risk assessments conducted in **ERICC-2025**. The study integrates instrumental observations, climate reanalyses and regionalised projections developed within the framework of the **CORDEX-EU** programme and the **AdapteCCa** platform, together with national scenarios derived from CMIP6 models. The main **climate hazards** analysed include temperature, precipitation, drought, aridity, sea level, wave climate and ocean acidification, as well as their interactions, considering both **historical trends** (1961–2020) and **future projections** under different emission scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5).

3.1. Observed climate trends

The results confirm that **Spain ranks among the European regions with the highest climate exposure and sensitivity**, particularly in the Mediterranean basin, the archipelagos and the semi-arid interior zones.

The most relevant climate variables exhibit clear trends:

- **Temperature:** An average increase of +1.69 °C since the mid-twentieth century, accompanied by greater frequency and intensity of **heatwaves**, more **tropical nights** and a longer climatic summer.

- **Precipitation:** No clear trend in average annual precipitation, but a predominance of short, torrential episodes over prolonged dry periods.

- **Droughts:** Increasing duration and intensity of meteorological, agricultural and hydrological droughts, with cumulative impacts on ecosystems, agricultural production and water availability.

- **Aridity and soil moisture:** Rising potential evapotranspiration and declining soil moisture, accelerating processes of **desertification** and loss of soil productivity.

- **Sea level:** Mean rise exceeding 3 mm per year, accompanied by an increase in **meteorological tides** and coastal erosion.

- **Waves:** Growing storm energy in the Atlantic and western Mediterranean, producing cumulative effects on ports, beaches and dune systems.

- **Sea temperature and acidification:** Warming of surface waters and a decline in pH levels, affecting marine habitats, fisheries and coastal ecosystems.

- **Compound extreme events:** Increasing frequency of simultaneous heat and drought events, or torrential rain following extended droughts, with cascading effects on economic and social sectors.

These changes are already reflected in multiple environmental and socioeconomic indicators, confirming that **observed impacts** are consistent with projections for the 2030 and 2050 horizons.

3.2. Climate projections for the twenty-first century

The analysed projections confirm the continuation and intensification of the observed trends.

Under the intermediate **SSP2-4.5 scenario**, an average temperature rises of **2 °C by mid-century** and **3 °C by the end of the century** (relative to 1981–2010) is projected; under the **high SSP5-8.5 scenario**, increases could exceed **4 °C** across large areas of the south and southeast.

Heatwaves are expected to become longer and more frequent, and the number and spatial extent of tropical nights (minimum temperature > 20 °C) will grow, particularly in Mediterranean and coastal urban zones, with direct implications for health and energy consumption.

Regarding **precipitation**, models suggest an **annual average reduction of 4–16 %** by the end of the century, although with strong regional heterogeneity. Seasonal irregularity is expected to increase, with wetter winters in the north and drier autumns and summers in the south and east. Conversely, **extreme precipitation events** (>95th percentile) may intensify, heightening the risk of flash floods and erosion.

Hydrological and agricultural droughts are projected to intensify, reducing mean flows and reservoir storage levels. The **Guadalquivir, Segura, Júcar and Ebro** basins show the largest

projected decreases in water availability, with consequences for irrigation, urban supply and hydropower generation.

Changes in rainfall regimes, combined with rising temperatures, will create more **favourable conditions for severe and extensive forest fires**, due to the greater volume of fuel exposed to prolonged droughts. Projections indicate an increase in fire danger—up to +14 % under RCP 4.5 and +30 % under RCP 8.5 by century's end—and longer fire-risk seasons.

Sea level is expected to continue rising throughout the century, with **+30 to +45 cm projected for 2100** under the intermediate scenario and **up to +80 cm** under the high scenario, depending on polar ice-sheet melt rates. This rise will combine with more frequent extreme water-level events, exacerbating **coastal flooding and erosion** in deltaic plains and urbanised Mediterranean and Canary Island areas.

In the oceanic environment, **sea-surface temperature** could increase by up to **3 °C** by 2100, while PH could fall by an additional **0.3 units**, intensifying marine biodiversity loss and disruption of trophic networks.

3.3. Compound extreme events and cascading effects

The **Complex Risks and Climate Variables** chapters emphasise the growing importance of **compound extreme events**, understood as the coincidence or interaction of multiple climate hazards (e. g., prolonged heat and drought; marine storms and pluvial flooding; extreme heat and air pollution). Such phenomena produce **non-linear effects** that amplify damages and reduce the response capacity of natural and human systems.

Recent examples include the **2022–2023 drought**, which combined rainfall deficit, heatwaves and high soil temperatures, leading to exceptional declines in agricultural productivity, reservoir levels and significant economic losses. In coastal areas, **the concurrence of marine storms with astronomical and meteorological tides, together with intense rainfall**, has caused simultaneous damage to infrastructure, beaches and coastal wetlands.

The interdependency analysis shows how such events may trigger **cascading risks**: reduced water resources affect hydropower generation and cooling of thermal plants, increasing energy demand and system costs; meanwhile, water scarcity and extreme heat affect labour productivity, public health and the financial stability of certain economic sectors.

3.4. Regionalisation: differentiated patterns by bioclimatic areas

Spain's climatic diversity determines the spatial distribution of impacts:

- **Atlantic region:** More moderate warming but greater frequency of intense precipitation events and increased fluvial flood risk.
- **Mediterranean region:** More pronounced warming and reduced rainfall, intensifying droughts, water stress and soil degradation.
- **Continental interior:** Stronger thermal oscillations and exposure to prolonged heatwaves due to continentality.
- **Archipelagos:** Greater vulnerability arising from sea-level rise, coastal erosion and dependence on imported energy and food.

These bioclimatic patterns are essential for contextualising sectoral risk assessments.Sectors such as **water, agriculture, energy and tourism** exhibit high sensitivity to regional climate gradients and ecosystem dynamics, whereas **health and urban planning** are more affected by exposure factors and population density.

3.5. Connection with the "Climate variables" chapter

The **Climate Variables chapter** constitutes a transversal reference within ERICC-2025, providing the quantitative inputs for risk modelling. It integrates both basic indicators (temperature, precipitation, wind, sea level) and derived indicators (drought indices, aridity, extreme events, ocean acidification), as well as their **sectoral translation** through composite indicators and specific variables—e. g. reference evapotranspiration in agriculture, mean annual flow in water resources, coastal overtopping in marine systems, or cooling degree-days in energy.

The combination of observations, projections and sectoral variables forms the **backbone of the risk analysis**, enabling an integrated assessment of territorial exposure, vulnerability and inter-sectoral dependencies.

4. Results of the risk assessment

4.1. General overview

ERICC-2025 identifies a total of **141 Relevant Risks (RR)** and **51 Key Risks (KR)** distributed across the **14 sectoral domains** defined in the **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC).**

Each key risk represents a critical interaction between **climate hazards, exposure and vulnerability**, and has been analysed in terms of severity, imminence, urgency and recovery capacity.

The set of risks reveals that climate change is acting as an **amplifier of pre-existing structural pressures**—such as ecosystem degradation, intensive resource use, urban concentration and territorial inequality—creating **cumulative and systemic effects** that simultaneously affect natural, productive and social systems.

In aggregate terms, ERICC-2025 highlights the following general patterns:

- **Node sectors (water, energy and health)** act as the main axes structuring the risk system, due to their high interconnection with other sectors and their capacity to generate cascading impacts.
- **Sectors most exposed** to direct physical hazards are **coasts and the marine environment, agriculture, natural heritage and biodiversity, and forestry**, owing to their direct dependence on climatic variables.
- **Seventeen risks of low or null reversibility** are identified, mainly associated with habitat loss, soil degradation, coastal erosion and desertification, requiring immediate preventive measures.
- The **greatest urgency for action** is concentrated in sectors directly affecting human well-being and socio-economic security (health, water, energy and food), where impacts are projected in the short and medium term.

- **Compound effects and interdependencies** among sectors increase the probability of systemic dysfunction, notably in the *Water–Energy–Food, Coasts–Tourism–Infrastructure*, and *Health–Labour–Energy* linkages.

From the perspective of risk components:

- The predominant **climate hazards** include the sustained increase in mean temperature, intensified heatwaves, reduced precipitation and more frequent extreme events (floods, marine storms, forest fires).

- **Exposure** is especially high in coastal areas, river corridors, intensive agricultural zones and large urban agglomerations.

- **Vulnerability** is concentrated in territories with lower adaptive capacity—depopulated rural areas, densely urbanised coastal zones, degraded ecosystems or economic sectors dependent on natural resources.

Confidence in the results is high in well-documented sectors (water, coasts, energy, health) and medium in those with greater uncertainty due to limited data or strong non-climatic influences (cultural heritage, financial system, social cohesion).

4.2. Synthetic sectoral results

Sectoral analysis clarifies how climate-change impacts manifest differently yet interconnected across the **natural**, **productive** and **social-institutional** systems.

Each system combines unique levels of exposure, vulnerability and adaptive capacity, but all share common dependencies—on water resources, energy, health and ecosystems—that shape Spain's overall risk structure.

a. Natural system

The natural system forms the **ecological core of territorial resilience** and the essential support for productive and social systems. However, it is also the most directly exposed to climate change, as its processes depend immediately on temperature, precipitation and hydrological dynamics.

Results show intensifying pressures on ecosystems and a growing risk of **loss of functionality and environmental services**.

In **water and hydrological resources,** the observed and projected trends confirm a gradual decline in resource availability and a greater frequency of extreme episodes.**Prolonged droughts and declining rainfall** reduce aquifer and reservoir recharge, while **increasing torrentiality** raises the risk of fluvial and pluvial flooding. These phenomena strain water security for agricultural, urban, industrial and energy uses and constitute **one of the most urgent key risks**. Vulnerability is especially high in southern and eastern basins, where competition for water and aquifer over-exploitation exacerbate climate-change impacts.

The impacts on **natural heritage and biodiversity** are equally significant. Rising temperatures, altered rainfall regimes and habitat fragmentation are driving **species redistribution**, loss of suitable habitats and disruption of ecological processes such as pollination and migration. Aquatic ecosystems and protected areas of the Mediterranean arc and Canary Islands are particularly vulnerable. Biodiversity loss also diminishes essential ecosystem services—water regulation, soil fertility, carbon capture and provision of natural goods—directly affecting human well-being and dependent sectors such as agriculture and tourism.

The **forestry sector** exhibits a complex dynamic, where expansion of wooded area coexists with increasing degradation risks. **Water stress, pest proliferation and more frequent wildfires** are altering forest composition and structure, reducing carbon-storage capacity and accelerating soil erosion. Desertification, particularly in the south-eastern peninsula, stands out as one of the most severe and **least reversible** processes. These phenomena have direct repercussions on forest-based industries, water-resource management and the maintenance of natural carbon sinks.

Overall, the natural system is characterised by **high urgency and high confidence**, as impacts are observable and strongly supported by scientific evidence. Loss of ecological resilience acts as a risk multiplier for human-productive systems, linking environmental degradation with economic and social stability.

b. Productive system

Spain's productive system—comprising agriculture, coasts and the marine environment, energy, mobility, industry and tourism—combines **high physical exposure** with **high economic sensitivity** to climatic change. Associated risks are heterogeneous but share a common feature: structural dependence on increasingly scarce natural resources and the need for resilient infrastructure.

In **agriculture, livestock and fisheries,** climate change manifests through **declining yields, loss of fertile soil and greater inter-annual variability of harvests**. Longer droughts, heat stress and disrupted phenological cycles threaten food security and rural livelihoods. The south and central regions suffer the most severe impacts, with irrigated systems and surface-water-dependent farms particularly vulnerable.Economic losses in the primary sector have direct implications for the financial system and rural employment.

Regarding the **coastal and marine environments,** results confirm **very high physical and ecological exposure**. Sea-level rise, coastal erosion and more intense storms cause sustained loss of land surface and damage to infrastructure, ports and coastal urban areas. **Ocean acidification** undermines marine-habitat integrity and fishery productivity, with cascading effects on the coastal economy. The Mediterranean coasts, deltas and archipelagos exhibit the greatest system vulnerability and are priority areas for preventive and ecological-restoration action.

As a cross-cutting sector, **energy** represents a critical node in the risk network.**Reduced water availability, high temperatures and demand peaks** simultaneously compromise generation, distribution and consumption. Projections indicate lower hydroelectric output, losses of grid efficiency due to overheating, and increased electricity consumption during heatwaves. These impacts generate systemic vulnerabilities requiring planning that integrates adaptation and energy transition, reinforcing supply security and flexible demand management.

The sectors of **mobility, transport, industry and services** share risks related to **exposure of critical infrastructure** and **disruption of logistics chains**. Extreme events (floods, heat, strong winds) can cause temporary interruptions in mobility, structural damage and productivity losses. Although **urgency is moderate**, their transversal nature makes them amplifiers of vulnerabilities in other sectors such as energy and trade.

Tourism exemplifies climate sensitivity. **Heatwaves** and **loss of thermal comfort** reduce visitor numbers to inland and urban destinations during summer, while degradation of natural and coastal resources undermines the competitiveness of "sun-and-beach" destinations. Vector-borne diseases and landscape deterioration reinforce this trend. Although parts of the sector are diversifying and extending the season, overall exposure remains high, especially in Mediterranean and island regions.

The productive system thus combines **significant urgency and high confidence**, grounded in robust empirical evidence. Adaptation will require integrated measures combining resource efficiency, technological innovation and territorially coordinated management with the natural and social systems.

c. Social and institutional system

The social-institutional system concentrates the impacts directly affecting **human well-being, health and social cohesion**, as well as the stability of economic and governance structures. Climate change constitutes not only an environmental risk but also a **social and distributive challenge**, magnifying inequalities and testing institutional response capacity.

Health is one of the most affected and urgent areas. Rising temperatures and more frequent heatwaves increase **heat-related morbidity and mortality**, particularly among older people, outdoor workers and vulnerable groups. Additional risks stem from **air pollution** and the spread of **vector-borne diseases** (e. g., dengue, West Nile virus) whose geographic range is expanding northward. These impacts require integrating climate surveillance into public-health systems and occupational and urban-planning protocols.

The **financial and insurance system** is facing double exposure: **physical risks** from direct damage to assets, infrastructure or crops, and **transition risks** linked to regulatory change and asset revaluation. Losses from extreme events, higher insurance payouts and potential devaluation of climate-sensitive investments depict a landscape of growing vulnerability, though current confidence in projections remains medium.

Cultural heritage is exposed to **material degradation and hazards such as flooding or erosion**, implying not only material losses but also loss of collective identity and tourism appeal. These impacts highlight the need to integrate **climate adaptation** into heritage and urban-management planning.

In the area of p**eace, security and social cohesion**, climate change acts as a **multiplier of tensions**. Combined effects of droughts, agricultural losses and resource pressures may worsen territorial inequalities and trigger conflicts over access to water or energy.Internal displacement linked to environmental degradation and declining habitability in rural or coastal zones is expected to increase.

Finally, **cities and urban environments**, concentrate much of the system's exposure: high population densities, critical infrastructure and impermeable surfaces.The ***urban heat-island effect,* flood risk** and pressure on basic services pose structural challenges for urban and building planning. Nevertheless, cities also offer the greatest opportunities to implement Nature-Based Solutions (NbS) and early-warning systems.

Overall, the social-institutional system presents **high urgency and medium-to-high confi-**

dence, with immediate impacts on health and cohesion and indirect effects on economy and governance. Adaptation will require inclusive policies, sensitive to territorial inequality, and closer coordination among social, health and environmental domains.

4.3. General synthesis

The sectoral results of ERICC-2025 depict a **highly interdependent climate-risk system**, in which ecological, productive and social dysfunctions mutually reinforce and amplify each other. Vulnerability in natural sectors (water, forests, biodiversity) directly affects the stability of the productive system and, ultimately, social cohesion.

5. Complex Risks and Interdependencies analysis

ERICC-2025 adopts a systemic approach to understanding how climate risks do not operate in isolation, but rather as part of an **interdependent network of impacts** that amplify and feedback into each other. This analysis constitutes one of the most relevant methodological advances of the study, since, along the content of all the sectoral chapters, allows identifying **cascading effects, shared vulnerabilities and critical failure points** within the Spanish socio-ecological and economic system.

The **51 key risks** identified in the assessment have been represented using a **complex risk model**, where each risk is conceived as a node and the relationships between them as connections weighted according to their intensity and direction.

This model, developed using **graph analysis** methodologies, allows the functional dependencies between sectors to be visualised and the centrality of each node to be quantified, i.e. its capacity to generate or receive impacts. The complex risk analysis, together with the individual analyses of each sector, presents a **highly interconnected** risk structure.

As mentioned above, the complex risk analysis is a fundamental phase of the project, developed through a participatory approach. One of the most notable aspects has been the extensive involvement of stakeholders from various fields, which has allowed incorporating multiple perspectives. This diversity has been key to enrich the analysis, strengthening both the validity and robustness of the obtained results.

In order to analyse the dynamics and relevance of each risk within the system, various metrics are calculated to characterise their behaviour and interactions:

- **Out-degree**: indicates the risks with the greatest capacity to generate impacts on other elements of the system.
- **In-degree**: identifies those risks most vulnerable to external influences.
- **Closeness**: reflects how quickly a risk can be affected by the rest of the system, considering the distance in the network of interdependencies.

- **Betweenness**: indicates the risks that act as bridge nodes in the propagation of effects, playing a critical role in the connectivity of the system.

These are some of the most relevant conclusions regarding the **out-degree** and **in-degree** of the analysed risks:

5.1. Out-degree

Refers to the capacity of a risk to generate or amplify other risks within the system, acting as a driver or propagator of impacts. Risks with a high out-degree play a structural role in the dynamics of the risks system, and their management can have positive multiplier effects.

Risks with the highest **out-degree** are those that trigger multiple cascading impacts, affecting economic sectors as well as ecological and social systems. Prioritising their management can significantly reduce systemic exposure:

- **Damage caused by prolonged extreme droughts stands out** for its **potential to trigger more than 26 key risks**. These include the loss of ecosystem services and reduced water availability for different uses and demands due to reduced water resources.

- **Damage from pluvial and fluvial flooding is a driver of 18 key risks**, including risks that are essential to people's lives, such as the destruction or degradation of livelihoods, serious disruptions of supply and shortage of basic services, especially water, energy and communications, or damage to critical infrastructure and transport infrastructure.

- **Global biodiversity loss** is a high-output risk, resulting from the accumulation of impacts from climate change at multiple levels (loss of genetic, species and ecosystem diversity). This risk has a direct impact on 17 key risks, including the **degradation of ecosystem services**.

- The **loss or degradation of ecosystem services** due to alterations in ecosystem functionality caused by changes in climate variables also acts as a driver of significant sectoral impacts. Among the most relevant effects are the **decline in agricultural productivity, the loss of forest ecosystems' capacity to absorb and store carbon, and the alteration of essential ecological processes such as pollination**.

5.2. In-degree

Reflects the level of **dependence of one risk on others** within the system. Risks with a high in-degree are influenced by multiple risks, making them **critical points of impact accumulation**. Identifying them allows us to anticipate possible **collapse points** or accumulation of stress, being crucial to design effective **adaptation and resilience** strategies.

Among the risks with the highest in-degree are:

- **Risk of destruction or degradation of livelihoods and subsistence** (in-degree: 29), reflecting high vulnerability to multiple climate hazards, especially in fragile social and economic contexts.

- **Risk to security due to severe disruptions in water, energy or food supplies**, as well as damage to critical infrastructure (in-degree: 20). This risk, which falls under the peace, security and social cohesion sector, is highly sensitive to cascading impacts.

- In urban areas, the **risk of serious disruptions to the supply of basic services** (water, energy, communications) due to extreme events such as floods, droughts or extreme temperatures has an in-degree of 14. It also acts as impacts spreader, with an out-degree of 13, making it a doubly relevant node.

- The **risk of loss or degradation of ecosystem services** due to disruptions in ecosystem functionality has an in-degree of 17, as well as a high out-degree (16), positioning it as a strategic node in the risk network.

- In the financial sector, risks such as **asset price corrections** and **reduced financial activity** due to falling investment and savings in areas highly disrupted by extreme weather events, standing out with in-degree of 22 and 19 respectively. Both act as recipients of systemic impacts.

- Sectors such as **tourism** are also identified as important **receptors of climate impacts**, especially due to their dependence on stable environmental conditions and sensitive infrastructure.

5.3. Integrated and systemic management

The analysis of climate change from a complex risk perspective, using graph theory, has provided a **structural and relational view** of the risks system. The results points a highly interconnected network that highlights the need to adopt **integrated and systemic management** approaches that consider not only individual risks, but also their interactions and cascading effects.

In addition, the analysis of complex risks also allows informing policies and stakeholders who are interested in **specific risks** and want to know which other risks may **directly affect** them or those they may affect.

6. Prioritisation of policies and adaptation measures

ERICC-2025 proposes an integrated framework for prioritising climate action based on three complementary dimensions: **temporal urgency, level of knowledge and monitoring, and governance and management modality**. This approach links scientific evidence with the planning requirements of the **PNACC 2026-2030**, allowing decision-makers to determine where to concentrate public efforts and which risks require immediate response, enhanced knowledge or advanced inter-sectoral coordination.

6.1. Urgency dimension

The first dimension assesses the **temporal need for intervention**, combining three factors: expected impact severity, risk imminence and recovery capacity.This assessment distinguishes among **maximum, significant and limited urgency**, thereby establishing a basis for sequencing policies and measures over the short and medium term.

ERICC-2025 identifies **13 risks of maximum urgency** which demand **immediate intervention and top-priority consideration** due to their high imminence, probability and severity. These risks are concentrated in the domains of **Human Health**, **Water and hydrological resources**, **Natural Heritage**, **Urban areas**, and **Peace-Security-Social Cohesion**. They represent areas where climate change is already producing tangible effects or where the window of opportunity for action is narrow. Notable examples include increased heat- and pollution-related morbidity and mortality; extreme droughts and floods; biodiversity loss; urban damage from severe hydrometeorological events; and social risks linked to disruption of critical supplies.

A further **31 risks** show **significant urgency**, requiring near-term planning and preparedness, while **7 risks** have **limited urgency**, associated with slower-manifesting processes or greater sectoral-management capacity.

Altogether, this dimension provides temporal prioritisation for adaptation, identifying areas where measures must be anticipatory, preventive and high-impact.

6.2. Monitoring dimension

The second dimension concerns the **confidence level in the available evidence** and the **need for additional monitoring or research**. Three degrees are defined—**advanced, intermediate and basic monitoring**—according to data robustness, methodological consistency and phenomenon complexity.

ERICC-2025 identifies **18 risks requiring advanced monitoring**, mainly in the domains of **Cities and urban planning, Cultural Heritage, Energy, Transport, Industry and Services, Tourism, Financial and Insurance System, and Peace-Security-Social Cohesion**. These risks exhibit **high uncertainty or complexity** and thus **call for increased effort in applied research, data collection and continuous observation**. Information gaps affect both impact characterisation and quantification of inter-sectoral interdependencies—for instance, the relationship between extreme heat and labour productivity, or the financial repercussions of extreme climate events.

An additional **24 risks** require **intermediate monitoring**, implying periodic surveillance and targeted studies on specific aspects, whereas **9 risks** are considered sufficiently characterised and need only **basic monitoring** to validate their evolution.

This dimension helps direct scientific and observational policy, linking research needs with risk management and indicator generation for PNACC tracking and European-Union reporting.

6.3. Management dimension

The third dimension analyses the **governance modality** necessary to address each risk, distinguishing between **sectoral management** and **coordinated management**. Some risks can be handled through specific policies within a given field, while others require **shared decision-making structures, joint planning and inter-administrative cooperation.**

A total of **24 risks** demand **coordinated management**, spanning most domains but especially prominent in **Water and hydrological resources**, **Natural Heritage**, **Forestry**, **Agriculture**, **Urban areas**, and the **Financial and Insurance System**.These are characterised by **high interconnectivity** and the need to integrate environmental, economic and social policies.

For example, the managements of extreme droughts necessitate coordination among water, energy and agricultural authorities. Addressing biodiversity risks requires alignment between

conservation and land-use planning policies. Financial impacts from climate events call for governance mechanisms linking the insurance sector with public-planning authorities.

The remaining **27 risks** can be managed primarily at the sectoral level, though basic coordination mechanisms should be maintained to prevent maladaptation or vulnerability transfer between domains.

6.4. Multi-priority risks and integrated vision

Cross-analysis of the three dimensions—urgency, monitoring and management—identifies risks that exhibit **multiple priorities**, i.e., those that are simultaneously high-urgency, low-confidence and highly interdependent with other sectors.

ERICC-2025 highlights **14 such multi-priority risks**, distributed among the domains of **Water and hydrological resources**, **Natural Heritage**, **Urban development**, **Industry and services**, **Financial and Insurance System**, and **Peace-Security-Social Cohesion**. These cases represent **strategic nuclei of national adaptation**, where early action, knowledge enhancement and cross-governance are essential to prevent systemic impacts and irreversible losses.

6.5. Strategic orientations for action

Combining these three dimensions yields an **operational prioritisation framework** for **the 2026-2030** period, which encompasses the following aspects:

1. **Immediate action** on maximum-urgency risks, reinforcing prevention and resilience in the critical sectors of health, water, ecosystems, urban areas and social cohesion.

2. **Investment in knowledge and observation,** prioritising advanced-monitoring risks through applied-research programmes and integrated monitoring systems.

3. **Promotion of coordinated governance** for highly complex risks, establishing stable spaces for inter-sectoral cooperation and strengthening institutional capacity for shared risk management.

4. **Synchronisation with European frameworks,** ensuring coherence with the **European Climate Risk Assessment (EUCRA), EIONET and Climate-ADAPT**.

Overall, **ERICC-2025**'s prioritisation framework provides a robust basis for guiding Spain's adaptation policy in the coming decade. This three-dimensional approach (urgency, monitoring and management) enables a transition from diagnostic evaluation to a **strategic climate-action agenda**, reinforcing the resilience of natural, productive and social systems and consolidating Spain's position as a European reference in integrated climate-risk management.

7. Strategic conclusions

Spain´s Climate Change Risks and Impacts Assessment (ERICC-2025) represents the most comprehensive exercise undertaken to date to understand how climate change simultaneously and systemically affects the country's natural, productive and social systems. Its results provide an integrated vision of climate risk, structured around three pillars: **scientific diagnosis, cross-sectoral interdependence, and strategic orientation toward action.**

7.1. Main aggregated findings

The analysis confirms that Spain faces a **highly interconnected system of climate risks**, where physical, ecological and socio-economic impacts mutually reinforce each other. The most exposed sectors—water, agriculture, coasts, natural heritage and forestry—are directly affected by intensifying droughts, heatwaves, biodiversity loss and sea-level rise. In turn, these impacts propagate through the energy, tourism, health and social-cohesion sectors, producing **cascading effects** that compromise well-being, security and economic stability.

The **complex-risk model and sectoral analysis** show that the **water, energy and health nodes** structure the national network of vulnerabilities. Declining water resources, stress on the energy system and population exposure to extreme heat or pollution are the principal vectors connecting environmental degradation with social and financial impacts.

7.2. Most vulnerable sectors and territories

Territorial vulnerability displays a clear **latitudinal and climatic gradient**. **Mediterranean and southern regions** concentrate the highest risks associated with water scarcity, desertification and heatwaves. The **archipelagos** and low-lying coastal zones are especially sensitive to sea-level rise and coastal erosion. The **continental interior** is characterised by exposure to thermal extremes and uneven adaptive capacity, conditioned by resource availability, population density and socio-economic structure.

From a sectoral perspective, **natural systems** (water, forests, biodiversity) are most affected by intensifying physical hazards. **Productive systems** (agriculture, energy, tourism, industry) suffer

increasing impacts due to dependence on these natural resources. And **social and institutional systems** (health, finance, cohesion) experience indirect consequences, amplifying inequalities and territorial tensions.

7.3. Additional conclusions

The analysis of interdependencies across the various sectoral chapters shows that the national climate risk system functions as a **dense network**. Within this network, direct impacts on one sector can trigger secondary effects in several others. These **cascading effects** describe how an initial impact causes a series of consequences in different sectors or at different scales. The ERICC-2025 identifies **critical interdependencies** due to their high degree of connectivity and their ability to amplify impacts. Three significant examples are presented below.

The **domain of water and water resources** emerges as a **central node and catalyst for vulnerabilities**, given its direct relationship with natural, productive and social systems. The reduction of water resources, for example, not only affects agriculture and hydroelectric power generation, but also the cooling of industrial facilities, urban supply and public health, creating a domino effect that can simultaneously compromise food production, energy stability and human well-being.

Another example of significant interdependence focuses on the **combined impact of extreme heat on health, energy and labour productivity**. During episodes of intense heat, health and labour systems face increased demand and reduced response capacity, with effects on morbidity and mortality, especially among the **most vulnerable groups**. Prolonged heat waves increase electricity consumption for cooling, putting pressure on the energy system's capacity just when its efficiency is at its lowest. The increase in demand coincides with peaks in air pollution and loss of productivity in sectors involving outdoor work or in dense urban environments. This leads to economic losses, saturation of health services and greater exposure of the most vulnerable workers. In the long term, the persistence of these events **alters the organisation of work and social behaviour**, requiring structural measures in occupational health, urban design and energy management.

A third example can be found in coastal areas. **Rising sea levels, extreme storms and coastal erosion** generate a series of chain reactions that affect tourism, the local economy and critical infrastructure. Damage to beaches, promenades, ports and urban areas reduces the quality of the tourist destination, causes economic losses and alters land use patterns. In turn, the degradation of coastal ecosystems such as dunes and marshes reduces natural protection against storms, exacerbating future impacts. The cost of recovery is transferred to the financial system and public

budgets, closing a cycle of cumulative vulnerability. This complex is one of the clearest examples of how **physical and economic risks are intertwined**, and of the need to **plan coastal adaptation with integrated conservation, urban planning and economic criteria**.

The interdependencies between these three examples form the **backbone of the risk network** and reflect a negative feedback loop, where each component amplifies the vulnerability of the others. Based on these, various **interaction subsystems** are structured, grouping the rest of the sectors into specific impact chains, each with its own dynamics and different levels of urgency.

Beyond the main chains, the analysis reveals the existence of **cross-feedback loops** that amplify the magnitude of the risk. For example, the loss of vegetation cover due to forest fires reduces infiltration and increases runoff, raising the risk of flooding. In turn, flooding damages electrical and transport infrastructure, causing interruptions in supply and economic activity.

Similarly, the degradation of natural ecosystems reduces carbon absorption capacity, contributing to a **further increase in greenhouse gas concentrations** and reinforcing the climate change cycle. Such complex feedbacks require **adaptive governance** approaches that integrate environmental management with economic and territorial planning.

Non-linear effects are also evident in the **social dimension**. Cumulative impacts on health, income, or employment tend to increase inequality and reduce the adaptive capacity of the most vulnerable groups, creating a **loop of reinforced vulnerability**. For this reason, ERICC-2025 emphasises that adaptation cannot be addressed solely from a sectoral management perspective, but rather from a **systemic and inclusive vision**, where the reduction of social vulnerabilities is an integral part of climate policy.

7.4. Representation of the risk system and strategic priorities

The network of interdependencies identified shows that risks must be analysed in the context of the **national climate risk system**, where hazards and risks are connected to second-order subsystems (e. g., agriculture, tourism, coasts, transport, finance) and a set of support sectors (e. g., governance, social cohesion). This shows that the most influential nodes are not always the most exposed, but rather those whose alteration can generate the greatest indirect effects.

This confirms the need to prioritise adaptation measures based **on their ability to prevent cascading impacts**, not just their direct exposure.

Among the most notable operational conclusions are:

- The importance of strengthening **integrated water cycle management** as a cornerstone of water, energy and food security.
- The need to incorporate **climate resilience into energy and urban planning** to reduce the spread of cross-sectoral impacts.
- The strategic role of **Nature-Based Solutions (NbS)** and ecosystem restoration as preventive infrastructure against compound risks.
- The urgency of developing **cross-sectoral information and early warning systems** to anticipate chain effects and activate coordinated responses.

Overall, ERICC-2025 demonstrates that climate change must be understood as a **systemic risk**, capable of simultaneously affecting multiple sectors and scales. Its management requires moving beyond linear approaches and advancing towards **integrated adaptation planning** that strengthens the resilience of the country as a whole through cooperation between sectors, territories and institutions.

7.5. Knowledge and action areas to be strengthened

The assessment identifies **information and capacity gaps** that must be addressed to improve the precision and effectiveness of adaptation policy.

In particular, it is necessary to:

- **Strengthen climate observation and monitoring**, especially in sectors with advanced-monitoring needs (energy, transport, cultural heritage, tourism and finance).
- **Develop homogeneous indicators** to evaluate risk evolution, measure policy effectiveness and ensure coherence with European and international frameworks.
- **Promote interdisciplinary research** integrating physical, social and economic sciences to better understand interdependencies and non-linear effects of climate impacts.
- **Enhance institutional capacity** for coordination and risk governance, linking climate adaptation with territorial, urban and economic planning.

ERICC-2025 underlines that knowledge must not be merely cumulative but operational—translated into decision-support tools, early-warning systems and periodic policy-effectiveness assessments.

7.6. Relevance for adaptation policy

The findings of ERICC-2025 provide the technical foundation for **for the planning of the 2026–2030 Work Program of the PNACC** and aligning it with European resilience-building strategies.

The assessment delivers a **clear hierarchy of priorities**—based on the dimensions of urgency, monitoring and management—guiding the allocation of resources toward the most critical risks and those with the highest multiplier effect.

The findings from ERICC may offer valuable insights and evidence-based guidelines to progress in the following aspects:

1. **Integrate adaptation as a structural policy:** not only as a sectoral or environmental response, but also as a cross-cutting axis of economic, urban, and social policies.

2. **Act preventively** on maximum-urgency risks, reinforcing structural measures in health, water, ecosystems, coasts and social cohesion.

3. **Promote multi-level governance and inter-sectoral coordination**, integrating climate-risk management into financial, planning and regional-development decisions.

4. **Foster Nature-Based Solutions and territorial resilience,** harnessing their capacity to reduce risks, improve environmental quality and generate socio-economic co-benefits.

5. **Align national policies** with European and international frameworks, ensuring methodological coherence and data interoperability.

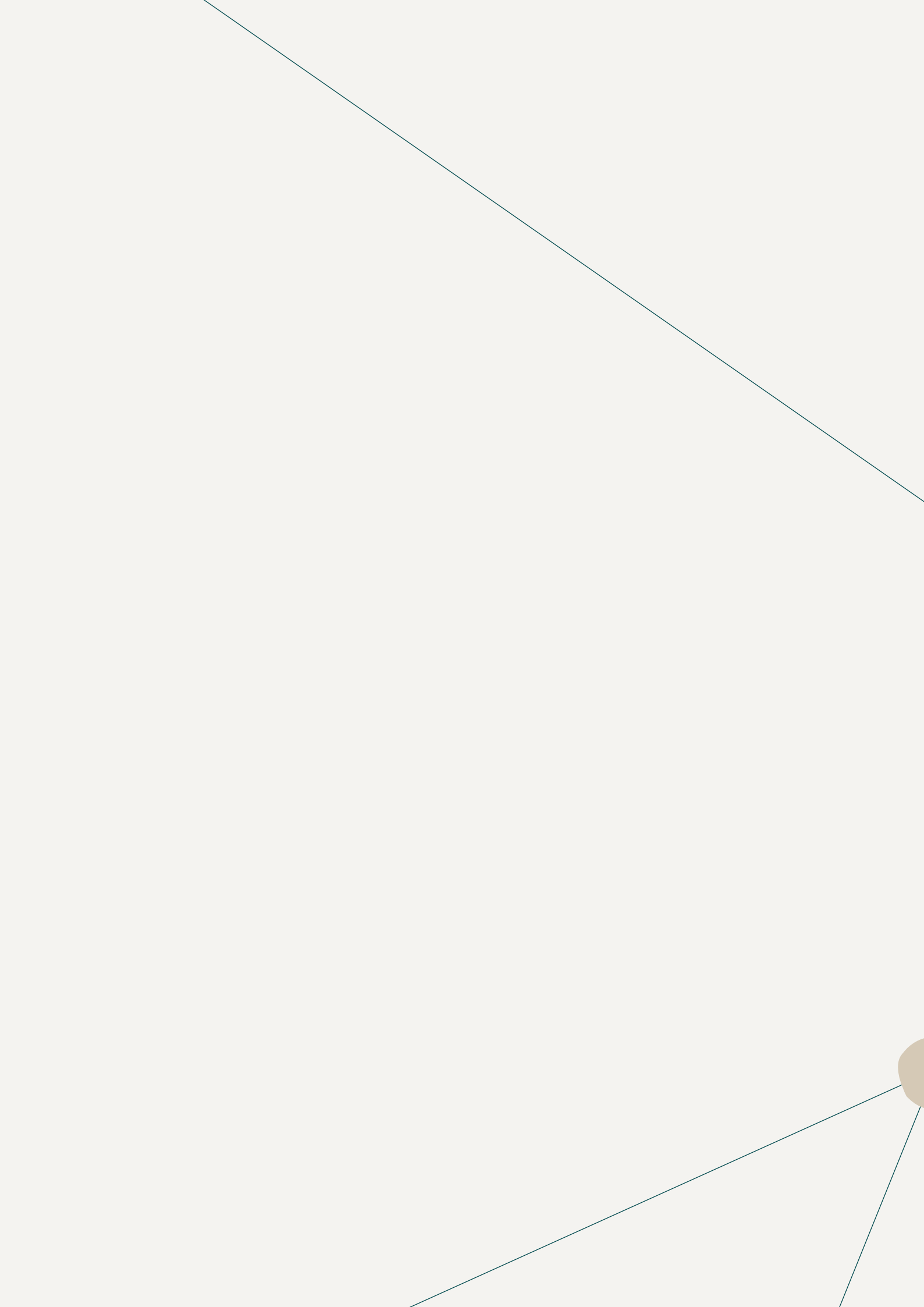
ericc

Evaluación de
Riesgos e Impactos
del Cambio Climático

PARTE I

Metodología

y variables climáticas



2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Metodología

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autor/Autores del capítulo:

Autores: Iñigo Losada Rodríguez (IH Cantabria), Laro González Canoura (IH Cantabria)

Contribuyentes: Iñigo Aniel-Quiroga (IH Cantabria), Javier López Lara (IH Cantabria), María Puig Fuentenebro (Tecnalia), Daniel Navarro Cueto (Tecnalia), Beñat Abajo Alda (Tecnalia), Efrén Feliu Torres (Tecnalia), David Lucio Fernández (IH Cantabria)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Losada, I.J. y González Canoura, L. (2025). Metodología. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Introducción / pág. 90

2. Marco conceptual del riesgo / pág. 92

3. Resumen metodológico / pág. 96

4. Identificación de riesgos relevantes y riesgos clave / pág. 99

4.1. Procesos de validación / pág. 99

4.2. Análisis de las variables climáticas / pág. 100

4.3. Variables meteorológicas básicas / pág. 100

4.4. Variables climáticas derivadas / pág. 101

4.5. Indicadores compuestos / pág. 101

4.6. Variables sectoriales / pág. 102

4.7. Clasificación IPCC: Impulsores del cambio climático (CIDs) / pág. 103

4.8. Definición de sectores / pág. 108

4.9. Autoría y contribuciones / pág. 108

4.10. Identificación de riesgos relevantes / pág. 109

4.11. Fuentes principales para la identificación de riesgos relevantes / pág. 109

4.12. Nomenclatura de riesgos / pág. 112

4.13. Elaboración de modelos conceptuales del riesgo de cada ámbito sectorial / pág. 113

4.14. Selección y validación de riesgos relevantes en cada sector / pág. 116

4.15. Identificación de riesgos clave / pág. 116

4.16. Selección de riesgos clave / pág. 123

5. Análisis de riesgos clave / pág. 124

5.1. Descripción del sector / pág. 124

5.2. Descripción de los riesgos clave / pág. 124

5.4. Aspectos transversales / pág. 128

5.5. Umbrales críticos / pág. 129

5.6. Identificación de riesgo de bloqueo (lock-in) / pág. 130

5.7. Gobernanza / pág. 130

5.8. Déficits de información / pág. 131

5.9. Evaluación de la severidad de los impactos de riesgos clave / pág. 132

5.10. Niveles de confianza / pág. 134

5.11. Niveles de calentamiento / pág. 136

5.12. Recomendaciones de priorización / pág. 139

5.13. Información adicional sobre riesgos complejos / pág. 140

5.14. Casos de estudio / pág. 142

6. Estructura del contenido de los capítulos sectoriales / pág. 143

7. Riesgos Complejos / pág. 149

7.1. Taller de co-creación del modelo / pág. 150

7.2. Desarrollo del modelo / pág. 150

7.3. Análisis de riesgos complejos / pág. 151

7.4. Taller de socialización / pág. 151

8. Orientaciones para establecer prioridades de políticas y medidas de adaptación / pág. 152

8.1. Determinación de la urgencia del riesgo. / pág. 153

8.2. Evaluación del nivel de confianza en la severidad de los impactos asociados al riesgo y la consiguiente necesidad de seguimiento. / pág. 155

8.3. Consideración de las interacciones entre riesgos, a partir del análisis de riesgos complejos / pág. 156

8.4. Priorización de medidas / pág. 156

1. Introducción

Este documento corresponde a la Metodología de la **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes" del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave" sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

El documento metodológico establece los principios que guiarán todo el proceso de evaluación y que serán aplicados de forma homogénea en cada uno de los sectores analizados. En el informe final, cada ámbito contará con un capítulo específico donde se describirán los impactos y riesgos identificados, según la metodología definida.

Uno de los principales objetivos de esta propuesta es garantizar que el enfoque adoptado sea escalable, trazable, transparente y replicable, lo que permitirá su adaptación a distintos niveles territoriales y contextos sectoriales, su revisión y actualización en el tiempo, así como su reutilización en futuros análisis. Además, se pone el acento en la homogeneización de la información, como base para asegurar la coherencia y comparabilidad entre sectores.

Este capítulo de Metodología se estructura en nueve secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual de riesgos** del IPCC, que es el adoptado de forma general en el proyecto, incluyendo un glosario de términos, adaptados del IPCC. Tras el resumen del **marco metodológico** que se utilizará para identificar los riesgos de los 14 ámbitos sectoriales, se describe de forma detallada la metodología que se seguirá para la identificación de **riesgos relevantes** y cómo, a partir de dicha identificación, se realiza la **selección de riesgos clave** a través de un análisis multicriterio. Posteriormente, se detalla el proceso a seguir para proceder con el **análisis de los riesgos clave** identificados, y la **estructura de los capítulos sectoriales.** Finalmente, se describe cómo **analizar los riesgos complejos** tras el análisis sectorial, y el **marco de evaluación del riesgo,** que permite generar recomendaciones de priorización.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos.

2. Marco conceptual del riesgo

El análisis de riesgos se realiza utilizando como marco conceptual el desarrollado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el Sexto Informe de Evaluación AR6 (2023), expuesto por primera vez en el Informe SREX (2012) y que se ha venido modificando ligeramente en informes posteriores. El concepto de riesgo se utiliza de manera diferente en distintas disciplinas científicas y literatura relevante; por ello se aplican las definiciones AR6 como referencia para este estudio para así asegurar la consistencia con el marco del IPCC y otros estudios equivalentes. Para tener una visión más detallada del concepto de riesgo en AR6, recomendamos la lectura del documento de Reisinger *et al.,* 2020 "The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report"[1].

En este contexto, los riesgos asociados al cambio climático hacen referencia a la posibilidad de que se produzcan impactos negativos sobre personas, ecosistemas, sectores económicos o infraestructuras, como resultado de fenómenos climáticos extremos o cambios graduales en el clima. Este riesgo se entiende como el resultado de la combinación de tres componentes: la peligrosidad (es decir, la probabilidad de que ocurran fenómenos climáticos extremos o cambios graduales en el clima), la exposición (la presencia de personas, ecosistemas, infraestructuras u otros elementos en zonas que podrían verse afectadas), y la vulnerabilidad (el grado en que esos elementos son sensibles o tienen capacidad limitada para adaptarse a los impactos). Según este enfoque, el riesgo aumenta cuando cualquiera de estos tres factores se incrementa.

[1] Reisinger, A., Howden, M., Vera C., *et al.,* (2020) The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. IPCC, Geneva. Switzerland.

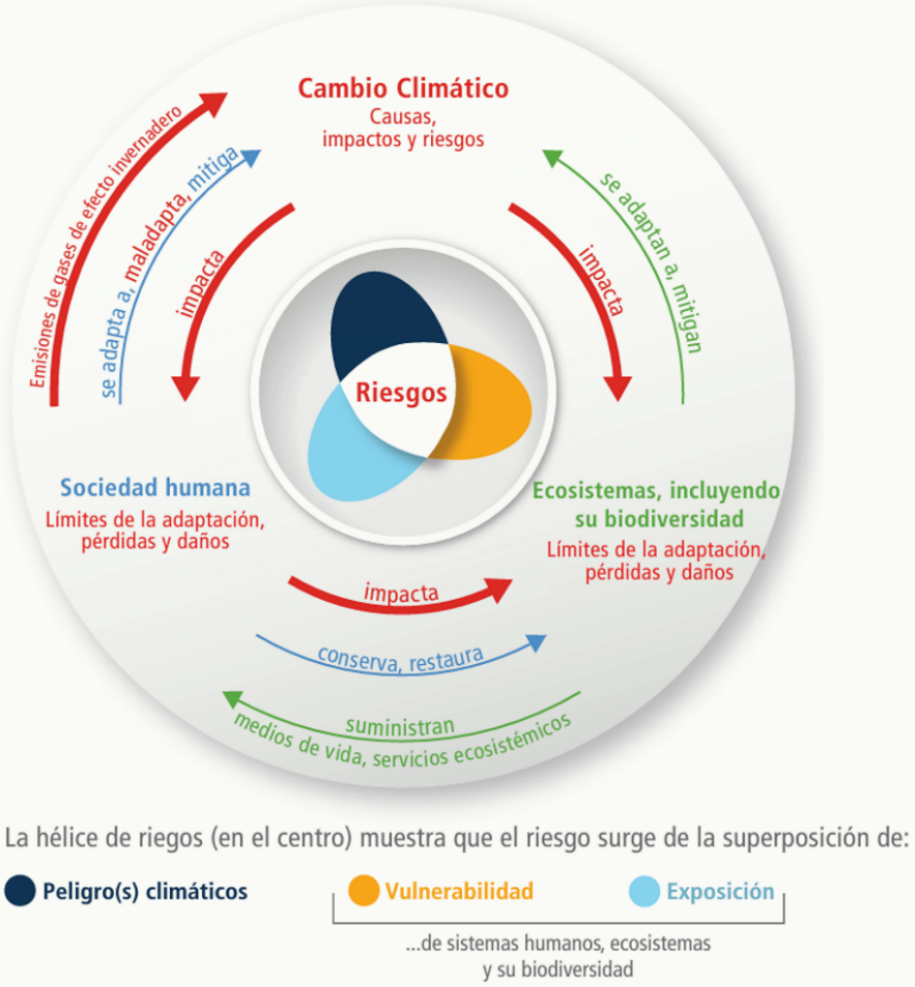


Figura 1. Marco conceptual de riesgo por Cambio Climático en IPCC AR6. Fuente: guía resumida del sexto informe de evaluación del IPCC (OECC).

A lo largo del texto se utilizarán las siguientes definiciones adaptadas del Glosario del IPCC[2 y 3] y también reflejadas en el Glosario de esta evaluación.

- **Riesgo:** En el marco de la evaluación de los impactos del clima, el término riesgo hace referencia al potencial de que se produzcan consecuencias adversas derivadas de un peligro relacionado con el clima, o de las respuestas de adaptación o mitigación a dicho peligro, sobre la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos), y la infraestructura. Los riesgos se derivan de la interacción de la vulnerabilidad (del sistema afectado), la exposición a lo largo del tiempo (al peligro), así como el peligro (relacionado con el clima). Los peligros, la exposición y la vulnerabilidad pueden estar sujetos a incertidumbre en términos de magnitud y probabilidad de ocurrencia, y cada uno de ellos puede cambiar con el tiempo y el espacio debido a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas.

- **Peligro:** En el ámbito de los análisis de riesgos asociados al cambio climático y, por tanto, el seguido a lo largo de este informe, el concepto de peligro hace referencia al potencial de que un fenómeno climático o proceso físico, como un evento extremo (inundaciones, olas de calor, tormentas, sequías) o una tendencia gradual (aumento del nivel del mar, desertificación), cause daños a personas, infraestructuras, ecosistemas o actividades socioeconómicas. Según el marco conceptual del IPCC, que es la base metodológica que sustenta el trabajo presentado en esta revisión, el peligro no se limita a describir la existencia del fenómeno, sino que incorpora tanto sus características físicas (magnitud, duración, intensidad) como su probabilidad de ocurrencia, de forma que constituye un elemento dinámico dentro de la evaluación del riesgo climático. Este enfoque permite integrar la información científica más actualizada sobre escenarios de cambio climático y proyecciones de eventos extremos en los procesos de planificación y adaptación.

  Cabe señalar que, en otros contextos, como la ingeniería, la seguridad física o la ciberseguridad, el término amenaza se utiliza para describir un factor externo o desencadenante que puede activar un peligro latente. Sin embargo, en el análisis de riesgos de cambio climático conforme al enfoque del IPCC, la amenaza se encuentra conceptualmente subsumida dentro

[2] IPCC, 2023: Annex I: Glossary [Reisinger, A., D. Cammarano, A. Fischlin, J.S. Fuglestvedt, G. Hansen, Y. Jung, C. Ludden, V. Masson-Delmotte, R. Matthews, J.B.K Mintenbeck, D.J. Orendain, A. Pirani, E. Poloczanska, and J. Romero (eds.)]. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

[3] IPCC, 2018: Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza.

de la definición de peligro, por lo que su uso separado no resulta necesario ni recomendable para evitar ambigüedades terminológicas.

- **Exposición:** se refiere a la presencia de personas, medios de vida, servicios ambientales, recursos, infraestructura o bienes económicos, sociales o culturales en zonas que pudieran verse afectados negativamente por un peligro, y, por tanto, sujetos a impactos, pérdidas o daños.

- **Vulnerabilidad:** propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

- **Riesgos de respuesta:** el Sexto Informe de Evaluación introduce el concepto de riesgos de respuesta, que hace referencia a los riesgos derivados de las estrategias de gestión del cambio climático, incluyendo tanto sus consecuencias imprevistas como su impacto a largo plazo en el sistema climático y en la sociedad. Estos riesgos pueden surgir cuando las medidas implementadas no alcanzan los resultados esperados, generan efectos adversos adicionales que agravan el resto de las componentes del riesgo o interactúan de manera dinámica entre sí o con otros riesgos. Maladaptación, riesgos de bloqueo, efectos no previstos de medidas de descarbonización o adaptación (por incertidumbre, adopción de tecnologías, efectividad, etc.), o riesgos de transición, son algunos de los conceptos que se engloban dentro de los riesgos de respuesta. La literatura existente todavía no está aplicando este concepto de manera consistente o coherente, por lo que en esta evaluación los riesgos se representan con la trilogía "clásica" de peligro-exposición-vulnerabilidad, y los riesgos de respuesta se analizan dentro de los aspectos transversales.

- **Impacto:** consecuencias de los riesgos materializados en los sistemas humanos y naturales, donde los riesgos provienen de las interacciones entre los peligros relacionados con el clima (incluidos los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos), la exposición y la vulnerabilidad. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud y bienestar, ecosistemas y especies, bienes económicos, sociales y culturales, servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) e infraestructuras. También pueden denominarse consecuencias o resultados.

Finalmente, es necesario mencionar que además de los riesgos, se identificarán oportunidades en los sectores analizados, entendidas éstas como factores que facilitan la planificación y ejecución de acciones de adaptación, que amplían las opciones de adaptación o que proporcionan co-beneficios.

3. Resumen metodológico

En esta sección se resume el marco metodológico que se adoptó para la realización del análisis de impactos y riesgos. Este marco ha sido aplicado en cada uno de los 14 ámbitos sectoriales en los que se ha realizado la identificación y análisis:

1. Salud humana.
2. Agua y recursos hídricos.
3. Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas.
4. Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental.
5. Agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y alimentación.
6. Costas y medio marino.
7. Ciudad, urbanismo y edificación.
8. Patrimonio cultural.
9. Energía.
10. Movilidad y transporte.
11. Industria y servicios.
12. Turismo.
13. Sistema financiero y actividad aseguradora.
14. Paz, seguridad y cohesión social.

Inicialmente, se llevó a cabo un diagnóstico descriptivo de las variables climáticas más relevantes de acuerdo con las identificadas en la literatura dentro de cada ámbito y la clasificación propuesta por el AR6 WGI del IPCC, que contempla seis categorías denominadas Impulsores del Impacto Climático (CID, por sus siglas en inglés). El capítulo de Variables Climáticas refleja los datos disponibles tanto de observación como proyecciones.

Una vez caracterizados los peligros, se procedió a la **identificación de los riesgos relevantes del sector (sección 4.10)**, para lo que se llevó a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial. Los riesgos relevantes son aquellos impactos que tienen importancia significativa dentro del sector, subsectores o contextos específicos. A partir de los riesgos identificados, así como de la literatura, se elaboraron modelos conceptuales de riesgos sectoriales, que permiten identificar claramente las interrelaciones y factores que pueden contribuir a dichos riesgos o efectos en cascada.

A continuación, de entre los riesgos incluidos en el listado inicial, se realizó la **identificación de los riesgos clave (sección 4.15)**, para lo que se aplicó un análisis multicriterio (AMC) con base en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, características temporales del riesgo, entre otros). Así, los riesgos clave son un subconjunto de riesgos relevantes seleccionados según su potencial gravedad dentro del sector.

A continuación, se llevó a cabo el **análisis de esos riesgos identificados como clave (sección 5)**. Dicho análisis contiene una descripción narrativa del mismo, y, si existen datos que permitan realizar un análisis más profundo, se aborda otros análisis como el estudio espacial de las componentes del riesgo (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad), los aspectos transversales relevantes (transfronterizos, compuestos, en cascada, maladaptación, etc.), la gobernanza existente, los déficits de información, entre otros. Tanto la identificación de los riesgos relevantes como la de los riesgos clave serán validados en un taller junto con el grupo de asesores externos. Del análisis anterior, y una vez abordada la validación, se realizará la **evaluación de la severidad de dichos riesgos clave**. Esta evaluación servirá para clasificar la severidad de los riesgos en Limitada, Sustancial, Critica, o Catastrófica.

Finalmente, se incorporarán los riesgos complejos, abordando su identificación y análisis por medio de grafos y métricas locales.

La Figura 2 muestra un esquema que describe las primeras fases de la metodología para la identificación, análisis y evaluación de riesgos e impactos derivados del cambio climático, cuyos detalles se describen a lo largo de las siguientes subsecciones.

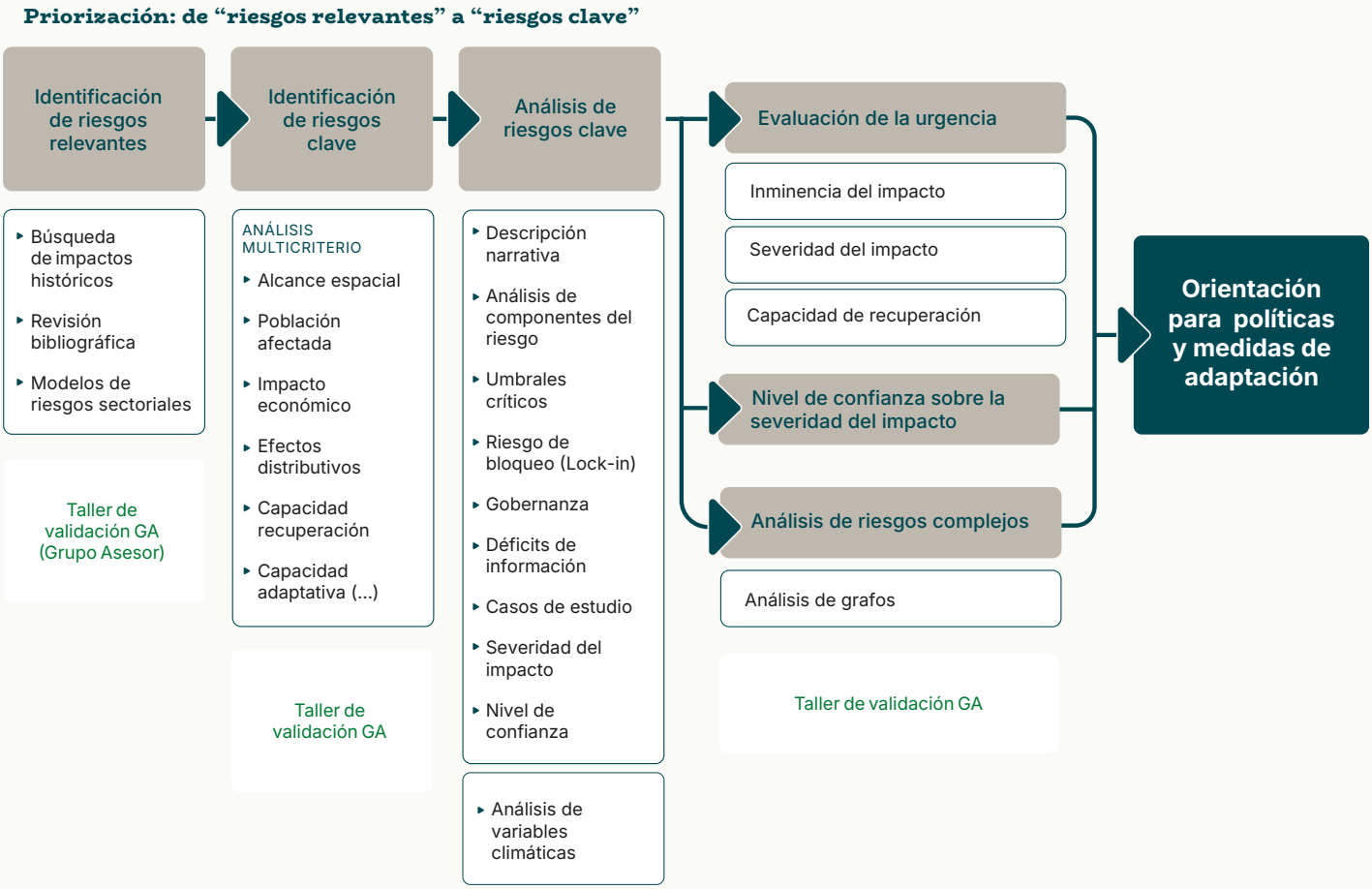


Figura 2. Fases para la identificación, análisis y evaluación de riesgos.

4. Identificación de riesgos relevantes y riesgos clave

4.1. Procesos de validación

Tanto la metodología como el desarrollo de los capítulos sectoriales se ha llevado a cabo en colaboración con la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), así como dos grupos de expertos: expertos sectoriales trabajando directamente con los autores en el desarrollo de los capítulos, y un grupo asesor coordinado por la OECC, y que ha provisto validación y comentarios a los contenidos.

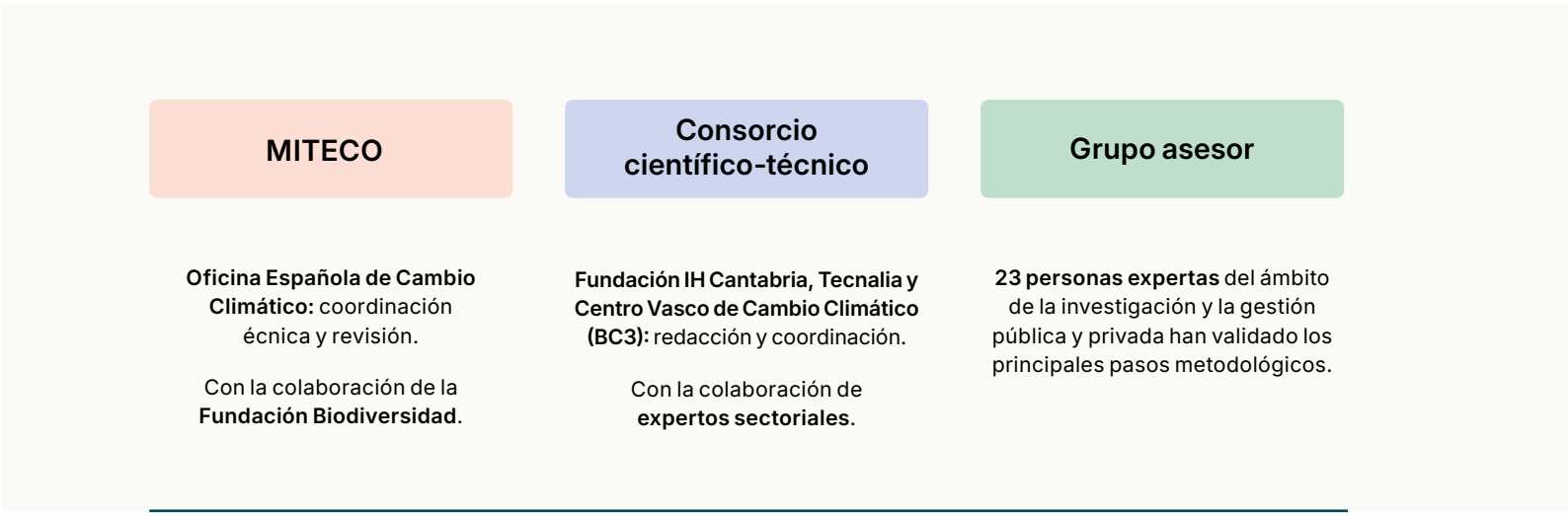


Figura 3. Desarrollo de la evaluación: actores clave.

4.2. Análisis de las variables climáticas

La caracterización del clima y la evaluación de sus impactos requieren la utilización de distintos tipos de variables climáticas, cada una de las cuales aporta una perspectiva específica sobre el estado y la evolución del sistema climático. Estas variables se agrupan en función de su origen, su nivel de procesamiento y su aplicabilidad sectorial.

4.3. Variables meteorológicas básicas

Las variables meteorológicas básicas representan las medidas más directas y fundamentales del estado del tiempo o del clima. Entre ellas se encuentran la temperatura del aire, la precipitación, la velocidad y dirección del viento y la humedad relativa. Estas variables capturan los elementos esenciales que determinan la dinámica atmosférica y son la base sobre la que se construyen tanto los análisis climáticos como las proyecciones futuras.

Estas variables se obtienen principalmente a través de observaciones directas realizadas en estaciones meteorológicas, o de productos generados por modelos numéricos de reanálisis o de predicción operacional. Su importancia radica en que constituyen la referencia primaria para la interpretación de las condiciones climáticas a diferentes escalas temporales y espaciales. A través de su registro continuo, es posible detectar tendencias de cambio, identificar anomalías respecto a patrones históricos y analizar la ocurrencia de fenómenos extremos. Además, estas variables permiten alimentar modelos numéricos de predicción meteorológica y climática, proporcionando la información de entrada necesaria para simular el comportamiento futuro del sistema climático.

En el ámbito de la adaptación y la gestión de riesgos, las variables meteorológicas básicas resultan esenciales para calcular indicadores derivados que reflejan de manera más explícita los riesgos potenciales, como los índices de calor, las tasas de evaporación o la energía disponible para tormentas. Asimismo, su seguimiento actualizado es imprescindible para la toma de decisiones operativas en tiempo real, como en la gestión de eventos de emergencia relacionados con olas de calor, precipitaciones intensas o vientos extremos.

4.4. Variables climáticas derivadas

Las variables climáticas derivadas representan transformaciones o combinaciones de las variables meteorológicas básicas que permiten una comprensión más directa y operativa de los impactos potenciales del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos. A diferencia de las medidas básicas, que describen el estado inmediato de la atmósfera, las variables derivadas capturan procesos y fenómenos que reflejan de forma más tangible las consecuencias del clima. Un ejemplo ilustrativo es la diferencia entre la precipitación —una variable meteorológica básica— y la escorrentía superficial —una variable climática derivada—, cuya generación puede inducir impactos concretos sobre los activos localizados en una determinada área. También se incluyen en este grupo fenómenos extremos como las olas de calor o de frío, que consisten en periodos prolongados con temperaturas significativamente por encima o por debajo de lo normal, así como los eventos de sequía, caracterizados por déficits persistentes de precipitación que afectan la disponibilidad de agua y el funcionamiento de los ecosistemas.

La obtención de estas variables puede realizarse a partir de observaciones directas, o mediante modelos numéricos que simulan los procesos físicos, hidrológicos y oceánicos que las generan. En muchos casos, los modelos permiten estimar variables derivadas en regiones o periodos donde la disponibilidad de datos observados es limitada, complementando así la información disponible para el análisis de riesgos climáticos.

4.5. Indicadores compuestos

Los indicadores compuestos se obtienen a partir de la combinación o transformación de variables meteorológicas básicas, y están conceptualizados para reflejar la ocurrencia de condiciones extremas o la superación de umbrales críticos para sectores específicos. Su principal valor radica en su capacidad para sintetizar información climática en métricas directamente aplicables a la toma de decisiones de adaptación y gestión del riesgo.

A diferencia de las variables individuales, que pueden describir un aspecto concreto del estado atmosférico, los indicadores compuestos integran varios factores para proporcionar una representación más operativa de las amenazas climáticas. Por ejemplo, el índice de días de calor extremo no solo contabiliza temperaturas elevadas, sino que las asocia a umbrales críticos de riesgo para la salud pública o la operatividad de ciertos sectores económicos. De manera similar, el índice de aridez combina información de precipitación y evaporación para evaluar el estrés hídrico en ecosistemas y sistemas agrícolas, mientras que los índices de riesgo de incendios forestales

incorporan variables como la humedad del suelo, la temperatura y la velocidad del viento para estimar la probabilidad de generación y propagación de incendios.

Estos indicadores son esenciales para operacionalizar los riesgos climáticos en sectores como la agricultura, la salud, el suministro de agua o la gestión de infraestructuras críticas como el transporte marítimo o el sector energético. Además, facilitan la monitorización y el seguimiento de los cambios climáticos a lo largo del tiempo, y permiten establecer sistemas de alerta temprana específicos para el sector.

4.6. Variables sectoriales

Las variables sectoriales son aquellas específicamente adaptadas para capturar los impactos climáticos más relevantes en sectores estratégicos. A diferencia de las variables básicas o derivadas, estas variables están diseñadas considerando las necesidades, umbrales críticos y dinámicas propias de cada sector, lo que las convierte en herramientas esenciales para una planificación y gestión adaptativa más precisa.

Estas variables integran distintos aspectos climáticos y sectoriales, combinando datos meteorológicos con conocimiento específico de los sistemas sociales y económicos sobre los que se proyectan los impactos. De esta manera, facilitan la identificación de vulnerabilidades concretas y la priorización de medidas de adaptación eficaces. En el ámbito agrícola, por ejemplo, variables como la temperatura base para cultivos permiten anticipar rendimientos o detectar riesgos de estrés térmico. En el sector de la salud, indicadores como el número de noches tropicales —aquellas en las que la temperatura mínima no desciende por debajo de un umbral crítico— resultan fundamentales para evaluar los riesgos asociados al estrés térmico nocturno. De forma similar, en el sector energético, variables como la demanda de refrigeración ayudan a estimar el incremento en el consumo eléctrico asociado a periodos de altas temperaturas, información crucial para la planificación de infraestructuras y la gestión de la oferta energética. Por lo tanto, las variables sectoriales permiten trasladar la información climática al terreno operativo de sectores estratégicos como los recogidos en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), fortaleciendo así la capacidad de anticipación y respuesta frente a los desafíos que plantea el cambio climático.

Cuadro 1: Tipos de variables climáticas y su aplicación en la adaptación sectorial

Para comprender el clima, evaluar sus impactos y orientar la adaptación, es necesario distinguir entre distintos tipos de variables climáticas. Cada grupo aporta información complementaria sobre el comportamiento del sistema atmosférico y su interacción con los sectores naturales, sociales y productivos.

- **Las variables meteorológicas básicas** constituyen las medidas directas del estado del tiempo, como la temperatura, la precipitación, el viento o la humedad relativa. Se obtienen principalmente mediante observaciones in situ o productos de reanálisis, y permiten detectar tendencias, identificar anomalías y alimentar modelos predictivos. Su seguimiento continuo es esencial tanto para la interpretación del clima como para la toma de decisiones operativas ante eventos extremos.
- **Las variables climáticas derivadas** se obtienen transformando o combinando variables básicas para capturar procesos de mayor complejidad, como la escorrentía, las sequías o las olas de calor. Estas variables permiten interpretar con mayor claridad los efectos del clima sobre los sistemas expuestos y se generan mediante observaciones, modelos numéricos o combinaciones de ambos. Son especialmente útiles cuando se desea representar fenómenos con implicaciones directas sobre la disponibilidad de recursos o los riesgos locales.
- **Los indicadores compuestos** sintetizan información múltiple en métricas que reflejan condiciones extremas o umbrales de riesgo sectorial. A partir de variables básicas, estos indicadores permiten estimar, por ejemplo, el número de días de calor extremo, el índice de aridez o el riesgo de incendios forestales. Se aplican para establecer umbrales de alerta, evaluar la exposición de sistemas productivos o definir límites críticos para la planificación sectorial.
- Las **variables sectoriales** se diseñan a medida para reflejar impactos específicos en sectores como la agricultura, la salud o la energía. Estas variables integran datos climáticos con criterios técnicos y umbrales propios de cada actividad. Permiten traducir la información climática en conocimiento operativo, como el riesgo de pérdida de rendimiento en cultivos, la exposición al estrés térmico en zonas urbanas o el incremento de la demanda eléctrica durante olas de calor.

4.7. Clasificación IPCC: Impulsores del cambio climático (CIDs)

El Sexto Informe de Evaluación del IPCC introduce el concepto de impulsores del cambio climático, conocidos por su acrónimo en inglés CIDs (Climate Impact Drivers). Los CIDs constituyen un marco conceptual que permite categorizar de manera sistemática las condiciones físicas del clima que afectan de forma significativa a los sistemas humanos y naturales. Este enfoque busca organizar la información climática no solo desde una perspectiva física, sino también considerando su relevancia práctica en la evaluación de impactos y riesgos.

De acuerdo con el IPCC, un CID es cualquier condición del sistema climático —ya sea una condición media o extrema— que, dependiendo del contexto, pueden tener efectos negativos,

positivos o neutros sobre los sectores sociales, productivos ambientales y económicos. Su utilidad radica en que no prejuzgan si un cambio climático es necesariamente un riesgo o una oportunidad; la valoración depende del grado de exposición del sistema afectado y de su vulnerabilidad para anticipar las posibles consecuencias negativas del cambio climático. De este modo, un mismo fenómeno, como un aumento de la temperatura media, puede ser perjudicial para un determinado sector, como la agricultura en una determinada región, al mismo tiempo, extender la temporada turística en otra.

Los principales grupos de CIDs se organizan en función de los procesos físicos dominantes del sistema climático, lo que permite agrupar fenómenos con características similares y, al mismo tiempo, facilitar su vinculación con impactos sectoriales. Esta estructura favorece una comprensión integrada de cómo los cambios en el clima se manifiestan en distintas regiones y escalas temporales. Los grupos incluyen:

- *Cambios térmicos,* que abarcan variaciones en temperaturas medias, máximas y mínimas, así como la frecuencia e intensidad de olas de calor o frío.

- *Cambios en la precipitación,* que comprenden tanto la cantidad total acumulada como la ocurrencia de eventos extremos, la intensidad de las lluvias y la duración de las sequías.

- *Cambios en el viento,* incluyendo variaciones en la velocidad media, las ráfagas intensas, o borrascas de alta intensidad.

- *Cambios en el nivel del mar,* observados tanto en su tendencia media como en eventos extremos que afectan especialmente a zonas costeras.

- *CIDs costeros,* donde se agrupan fenómenos como eventos extremos de oleaje, alteraciones en la salinidad o la acidificación del océano, con implicaciones directas para ecosistemas marinos y comunidades costeras.

- *CIDs criosféricos,* relacionadas con la extensión de la cobertura nival, la estabilidad del permafrost y la presencia o pérdida de hielo marino.

- *Otros CIDs,* que integran variables como la radiación solar, la humedad relativa o la presión atmosférica, relevantes en contextos específicos.

Cada uno de estos grupos puede desglosarse en categorías más detalladas, lo que permite una identificación más precisa de los fenómenos de interés para distintos sectores. Por ejemplo,

los cambios térmicos no se limitan a la temperatura promedio, sino que incluyen condiciones extremas que generan impactos concretos, como el estrés térmico en poblaciones urbanas o el acortamiento del ciclo de cultivo en determinadas especies agrícolas. De igual forma, dentro de las condiciones criosféricas se pueden distinguir procesos como el deshielo estacional o la pérdida de estabilidad del permafrost, con implicaciones específicas para el transporte, las infraestructuras o los ecosistemas de alta montaña y latitudes elevadas.

Esta clasificación facilita la conexión entre los fenómenos climáticos y los sectores que dependen críticamente de ellos, proporcionando un marco común para evaluar riesgos y diseñar medidas de adaptación. La relación entre CIDs y sectores impactados es, por tanto, directa. Algunos ejemplos permiten ilustrar esta correspondencia de forma clara, tal y como se muestra en la **Figura 4**.

Figura 4. Clasificación climática propuesta por el AR6 WGI del IPCC.

La aplicación de los CIDs permite estructurar el diagnóstico del riesgo climático de forma integrada, facilitando la comunicación entre expertos climáticos, gestores sectoriales y tomadores de decisión. El concepto de CID introduce, además, una aproximación neutral: las condiciones del clima son caracterizadas en su magnitud, frecuencia, duración o extensión espacial, pero la interpretación de su impacto depende del sistema expuesto. Así, no se clasifica un CID como "amenaza" o "beneficio" de manera automática, sino que se reconoce que sus consecuencias varían en función de la vulnerabilidad, la exposición y la capacidad adaptativa de los sistemas afectados.

El concepto de Climate Impact Drivers (CID) ha sido sistematizado por el Grupo de Trabajo I del Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6), como parte de un esfuerzo por categorizar las variables climáticas que tienen influencia directa en los sistemas humanos y naturales. Los CID disponibles incluyen tanto variables medias (como temperatura o precipitación) como eventos extremos (olas de calor, sequías, precipitaciones intensas, etc.) y están organizados en categorías físicas y biofísicas. Pueden consultarse y visualizarse a través del Atlas Interactivo del IPCC (Interactive Atlas), disponible en línea (https://interactive-atlas.ipcc.ch). Este recurso permite explorar la evolución histórica y futura de los CID en distintas regiones del mundo y bajo diferentes trayectorias de calentamiento.

Los datos disponibles en el Interactive Atlas proceden principalmente de dos fuentes:

- *Modelos climáticos globales CMIP6,* utilizados para las proyecciones de largo plazo del AR6. Estos modelos tienen una resolución espacial típica de entre 100 y 250 km, y ofrecen salidas desde el pasado histórico reciente (décadas de 1950–1980) hasta finales del siglo XXI, incluyendo múltiples escenarios de emisiones (SSP).

- *Modelos regionales de CORDEX,* utilizados para complementar el análisis en algunas regiones específicas. En el momento de elaboración del AR6, los únicos disponibles con cobertura suficiente eran los modelos CORDEX forzados con CMIP5, empleados anteriormente en el AR5. Estos modelos regionales ofrecen una resolución espacial de aproximadamente 50 km, y están disponibles para dominios como Europa (EURO-CORDEX), África (AFR-CORDEX) o Sudamérica (SAM-CORDEX). Su horizonte temporal abarca también desde el clima histórico hasta el año 2100, aunque con menor cobertura de escenarios que CMIP6.

Es importante señalar que los modelos regionales forzados con CMIP6 aún estaban en desarrollo al cierre del AR6, y de este capítulo, por lo que las proyecciones regionalizadas basadas en CMIP6 no están disponibles en el Interactive Atlas.

La selección de datos y su escala temporal y espacial debe hacerse en función del sistema analizado, el horizonte de planificación y la escala de decisión, considerando además las incertidumbres asociadas a cada fuente y su capacidad para representar promedios climáticos, extremos o variabilidad interanual.

Aunque los CIDs ofrecen una base poderosa para estructurar el análisis climático, es importante reconocer sus limitaciones.

Su definición está centrada en aspectos físicos del sistema climático y, por tanto, no captura toda la complejidad de las interacciones socioeconómicas, sociales ambientales o tecnológicas que modulan los impactos reales. Asimismo, los CIDs resultan adecuados principalmente para ciertos tipos de análisis climáticos sectoriales, pero no siempre son suficientes para abordar impactos compuestos, en cascada o de naturaleza compleja. Otro aspecto adicional que limita su aplicabilidad es la baja resolución espacial, lo que indudablemente conduce a una falta de definición de cara a la implementación de la adaptación.

Por tanto, el uso de CIDs debe entenderse como una herramienta fundamental pero complementaria dentro de evaluaciones de riesgo climático más amplias, en las que se incorporen factores adicionales como cambios en la vulnerabilidad, la exposición dinámica de activos o las transformaciones de los sectores analizados en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

El *capítulo de Variables Climáticas* tiene como objetivo proporcionar el conocimiento necesario para entender el comportamiento de las variables climáticas que definen la peligrosidad como parte esencial del riesgo a nivel nacional. Asimismo, incluye algunos fundamentos técnicos sobre datos climáticos y su aplicación en el ciclo completo de la adaptación, facilitando así una mejor comprensión a lectores no especializados que estén interesados.

El capítulo ofrece una caracterización general del clima en España, tanto de su evolución histórica como de su posible evolución futura, haciendo uso de:

- Observaciones climáticas recientes, basadas en registros instrumentales y empíricos que permiten caracterizar la evolución del clima en España desde mediados del siglo XX.

- Proyecciones climáticas futuras, derivadas de modelos climáticos globales y regionalizaciones dinámicas y estadísticas, bajo distintas trayectorias socioeconómicas y escenarios de emisiones (SSP-RCP, por sus siglas en inglés) y horizontes temporales (2050 y 2100). Estas proyecciones corresponden, principalmente, a los resultados de las simulaciones de las iniciativas globales CMIP5 y CMIP6, así como a la iniciativa regional CORDEX.

Dentro de cada uno de estos bloques, la información se organiza en torno a los siguientes subsistemas, con un conjunto de variables e indicadores climáticos representativos:

- Atmósfera, que comprende variables como temperatura, precipitación, viento, humedad y fenómenos extremos.
- Océano, que incorpora temperatura, salinidad, nivel del mar, acidificación y circulación marina.
- Criosfera, que incluye nieve, hielo, glaciares y permafrost.

4.8. Definición de sectores

El PNACC 2 (2021-2030)[4] identifica 18 ámbitos de trabajo, de los cuales 14 se analizan en esta evaluación. Los ámbitos sectoriales del PNACC están definidos de manera genérica, por ello, y para evitar solapes y duplicaciones de riesgos, este estudio ha hecho definiciones sectoriales basadas en trabajos anteriores similares y uso común dentro de la literatura de cada sector. Cada capítulo hará una descripción de su alcance en la introducción, para establecer los subsistemas y componentes incluidos en el análisis, los criterios utilizados, así como para identificar otros componentes de relevancia que se analicen.

4.9. Autoría y contribuciones

Cada capítulo del estudio es liderado y coordinado por un miembro del equipo de IHCantabria, Tecnalia o BC3. El desarrollo de los capítulos se hace en colaboración con los equipos de trabajo internos de cada organización, expertos temáticos externos, la OECC y el grupo asesor creado ad hoc para acompañar este proceso. La autoría de cada capítulo se reconocerá en cada capítulo según el nivel de contribución (adaptado de los principios IPCC[5]):

- Autores Principales: Son responsables de la redacción y el contenido de los capítulos.

[4] MITECO (2020) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2023.

[5] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/ipcc-principles-appendix-a-final_es.pdf.

- Autores Contribuyentes: Aportan conocimientos o experiencia específicos en áreas determinadas. No son responsables del contenido completo de un capítulo, pero sus contribuciones son esenciales para asegurar que el informe refleje una amplia gama de conocimientos y perspectivas.

- Agradecimientos: Revisores que aportan sus observaciones sobre la precisión e integridad del contenido científico, técnico y socioeconómico; así como personas o instituciones que han facilitado el trabajo de los autores a través del acceso a documentación, bases de datos, u otros recursos relevantes.

4.10. Identificación de riesgos relevantes

Los riesgos relevantes se han codificado como RR a lo largo del estudio. La metodología para su identificación se centra en la recopilación de información sobre riesgos climáticos, sus componentes (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad) e impactos, así como el estudio de aspectos no climáticos, con el objetivo de desarrollar los modelos conceptuales asociados a cada ámbito sectorial. Estos modelos conceptuales permiten, con base en dicha recopilación y el criterio experto del grupo desarrollador del proyecto, elaborar una lista de riesgos relevantes para cada sector (ver **Figura 2**). En todo momento se tendrá en cuenta que la información recopilada deberá ser homogeneizada para su aplicación en la evaluación de la severidad del riesgo, en etapas posteriores del análisis. La lista de riesgos recopilados, así como los modelos conceptuales elaborados serán validadas por el grupo asesor de expertos.

4.11. Fuentes principales para la identificación de riesgos relevantes

La identificación de riesgos relevantes parte de la información contenida en las versiones anteriores del documento en elaboración. Así, en este caso, el informe de MITECO (2021) titulado *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*[6] sirve de base para la recopilación de dicha información.

[6] Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

En aquellos sectores no incluidos en el informe MITECO (2021), la identificación complementaria de riesgos se ha realizado a través de las fuentes bibliográficas preidentificadas (ver **Tabla 1**), debiendo incorporar referencias basadas en estudios científicos (artículos) como fuente principal de información y, en segundo nivel, en referencias de informes, estudios y proyectos. Esta revisión bibliográfica incluye la información existente y disponible para España, tanto sobre la situación actual como sobre las proyecciones. Asimismo, se añadieron las referencias sugeridas por los expertos del equipo de trabajo.

Tabla 1. Referencias bibliográficas preidentificadas para la identificación de riesgos relevantes asociados a los ámbitos sectoriales reflejados en la convocatoria.

Sector	Referencias bibliográficas clave
Salud	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 7; European Environment and Health Atlas1, Copernicus Health Hub, PESETA IV, Sistema de Monitorización de la Mortalidad Diaria por todas las Causas (MoMo); Proyecto MACE (Mortalidad Atribuible en verano por Calor en España); EUCRA 2024.
Agua y Recursos Hídricos	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 4; PESETA IV; Datos de pérdidas por sequías; EUCRA 2024.
Patrimonio Natural, Biodiversidad y Áreas Protegidas	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 2 & CC 1; PESETA IV; Datos de estadística por incendios; EUCRA 2024.
Forestal, Desertificación, Caza y Pesca Continental	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 5 & CC 3; PESETA IV; EUCRA 2024.
Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura y Alimentación	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 5; PESETA IV; EUCRA 2024.
Costas y Medio Marino	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 3 & CC 2; PESETA IV, EUCRA 2024.
Ciudad, Urbanismo, Edificación	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 6; Consorcio de Compensación de Seguros; Datos de protección civil; Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas Significativas.
Patrimonio Cultural	ICOMOS 2019.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Sector	Referencias bibliográficas clave
Energía	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 6; PESETA IV; Climate Vulnerability Considerations for the Power Sector: non-Nuclear Generation Assets; Climate Vulnerability Considerations for the Power Sector: nuclear Generation Assets; Extreme Weather and Climate Vulnerabilities of the Electric Grid: A Summary of Environmental Sensitivity Quantification Methods; Climate change impacts and costs to U.S. electricity transmission and distribution infrastructure; Assessing Climate Change Risks and Opportunities for Investors: oil and Gas Sector; EUCRA 2024.
Movilidad y Transporte	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 6; CEDR, 20107; CEDR, 2012; CEN-CENELEC, 2021; Consorcio de Compensación de Seguros; Datos de protección civil; Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas Significativas; EUCRA 2024.
Industria y Servicios	MITECO 2021; IPCC AR6 WGII Chapter 6; Consorcio de Compensación de Seguros; Datos de protección civil; Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas Significativas.
Turismo	MAGRAMA 2016; MITECO 2021; JRC 2023; EUCRA 2024.
Sistema Financiero y Actividad Aseguradora	IPCC AR6 WGII Chapter 8; AMCESFI 2023; EUCRA 2024.
Paz, Seguridad y Cohesión Social	IPCC AR6 WGII Chapter 8; UNEP 2022; IPCC AR6 WGII Chapter 7 ; EUCRA 2024.

En esta recopilación se presta atención a fuentes que describan cuantitativa o cualitativamente los riesgos y/o sus componentes (peligrosidad, exposición y vulnerabilidad), así como sus impactos o consecuencias a diferentes niveles (población, medio ambiente, sistemas, etc.). Del mismo modo, se identificaron aquellos riesgos cuyo ámbito geográfico abarque todo el territorio nacional de forma general, o bien a alguna zona de manera específicamente reseñable.

Así, de manera sistemática, la identificación de riesgos relevantes se realiza siguiendo estos criterios:

- Identificación en la versión anterior del análisis MITECO (2021).
- Incorporación de riesgos complementarios presentes o referenciados en AdapteCCa y EUCRA[7].

[7] EEA (2024) European Climate Risk Assessment EUCRA doi:10.2800/204249.

- Recopilación de riesgos en referencias identificadas, tanto cuantitativa como cualitativamente, priorizando el ámbito geográfico Nacional.

- Identificación o puntualización de forma complementaria por los expertos del proyecto y/o el grupo asesor.

Esto permite una preidentificación de riesgos clave y garantiza que los criterios generales de selección son suficientemente amplios como para generar una lista de riesgos relevantes representativa de la problemática española.

Cuando las propias características del sector lo permitan, los riesgos se agruparán buscando aspectos comunes, como, por ejemplo, por peligro, por impacto, o por las referencias existentes en el sector con base en el criterio de los expertos sectoriales. El objetivo de este agrupamiento es obtener una lista concisa de riesgos que limite de alguna manera su número, pero sin excluir ninguno de ellos, de manera que permita que su análisis posterior, en caso de considerarse un riesgo clave, sea completo.

4.12. Nomenclatura de riesgos

La nomenclatura de riesgos es muy variada dentro de la literatura dependiendo del marco conceptual y enfoque metodológico, y el sector en cuestión. Por ello en este estudio se aplican los siguientes principios para armonizar la nomenclatura de riesgos a lo largo de los distintos capítulos sectoriales, así como que el nombre del riesgo contenga suficiente información sobre sus componentes. Se toma como punto de partida la Guía IPCC (2020) sobre el concepto de riesgo.

- Los nombres empiezan con la indicación “Riesgo de...” para separar claramente riesgos de impactos u otras componentes del riesgo.

- Siguiendo la definición IPCC, los riesgos representan el potencial de consecuencias negativas. Cuando los impactos pueden ser tanto positivos como negativos, se aplicará riesgos cuando las consecuencias negativas sean predominantes.

- Las consecuencias positivas se designarán como oportunidades. Dado el enfoque metodológico de este estudio, las oportunidades solo se identificarán a nivel de respuestas/co-beneficios de adaptación, y no a nivel de impactos.

- La nomenclatura del riesgo no lleva calificadores de probabilidad, estos se aplicarán tras el análisis.

- El riesgo identifica el receptor del peligro en la medida de lo posible, aunque por nivel de agregación pueden ser genéricos. Los receptores de peligro son sistemas humanos, ecológicos o físicos. La inclusión de sistemas físicos se diferencia del enfoque IPCC debido a la naturaleza sectorial del PNACC y como se han definido los sectores.

- El riesgo identifica el peligro/impulsor de impactos climáticos (IIC-CID). En caso de riesgos multi-peligro se podrán utilizar referencias más genéricas como "eventos extremos" o "cambio climático".

- Algunos riesgos relevantes se agregarán en un único riesgo clave (tras el análisis multicriterio) si comparten el receptor del riesgo.

Por ello la nomenclatura más común en este estudio está estructurada como: Riesgo de [consecuencias negativas] en [receptor del riesgo] por [impulsor de impacto climático]. A continuación, se presentan varios ejemplos de definición del riesgo para el sector de movilidad y transporte:

- Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos.

- Riesgo de daños en las infraestructuras de la red ferroviaria debido a eventos extremos.

4.13. Elaboración de modelos conceptuales del riesgo de cada ámbito sectorial

Con base en las actividades previas se elaboran modelos conceptuales para cada sector siguiendo el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres (UNDRR, 2022)[8] y el documento del Joint Research Centre "Towards a European wide vulnerability framework" (Eklund *et al.*, 2023)[9]. El objetivo de la elaboración de

[8] UNDRR (2022) "Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change", United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

[9] Eklund, L.G., Sibilia, A., Salvi, A., Antoie, T., Rodomonti, D., Salari, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z. and Corban, C. (2023). Towards a European wide vulnerability framework, Publications Office of the European Union, Luxembourg,

estos modelos consiste en facilitar la comprensión de los elementos que contribuyen al riesgo de cada sector de una forma visual y simplificada.

Para ello, cada modelo representa de un modo sistemático cada componente del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) y desagrega la componente de la vulnerabilidad en cinco dimensiones (social, económica, gobernanza/política, ambiental y física) con el fin de orientar, a su vez, el posterior análisis de los riesgos clave. Se reflejan todos los riesgos relevantes identificados, con los riesgos clave resaltados. También se incluyen factores de riesgo subyacentes, entendidos como condiciones no directamente relacionadas con el riesgo pero que pueden aumentar la vulnerabilidad y exposición de personas, comunidades, ecosistemas o sistemas económicos frente a peligros climáticos.

Adicionalmente, el modelo conceptual va acompañado de una descripción, la cual ofrece un mayor detalle de cada componente. A modo de ejemplo, dentro de la componente de vulnerabilidad se indicarán aquellos elementos que están relacionados con la sensibilidad o la capacidad adaptativa. Asimismo, se describirán de forma generalizada otros aspectos no incluidos en el modelo, como son los efectos transfronterizos o en cascada. Sin embargo, cabe indicar que el análisis de estos aspectos se llevará a cabo de una forma más profundo a nivel de riesgo clave, así como en el apartado de riesgos complejos.

La **Figura 5** muestra el modelo conceptual elaborado para el sector de Turismo. Como se puede observar, a través de la descripción de las componentes del riesgo (peligrosidad, exposición, vulnerabilidad), se identifica a partir de la revisión bibliográfica los potenciales impactos y riesgos relevantes.

Tal y como se describe previamente, el objetivo de este modelo conceptual es ayudar a la comprensión de los resultados de la revisión bibliográfica del sector, así como de las interrelaciones entre las componentes del riesgo identificadas, lo que facilita considerablemente la aplicación posterior de los criterios para la elección de riesgos clave o la posible identificación de posibles estrategias de adaptación.

doi:10.2760/353889, JRC118850.

Turismo

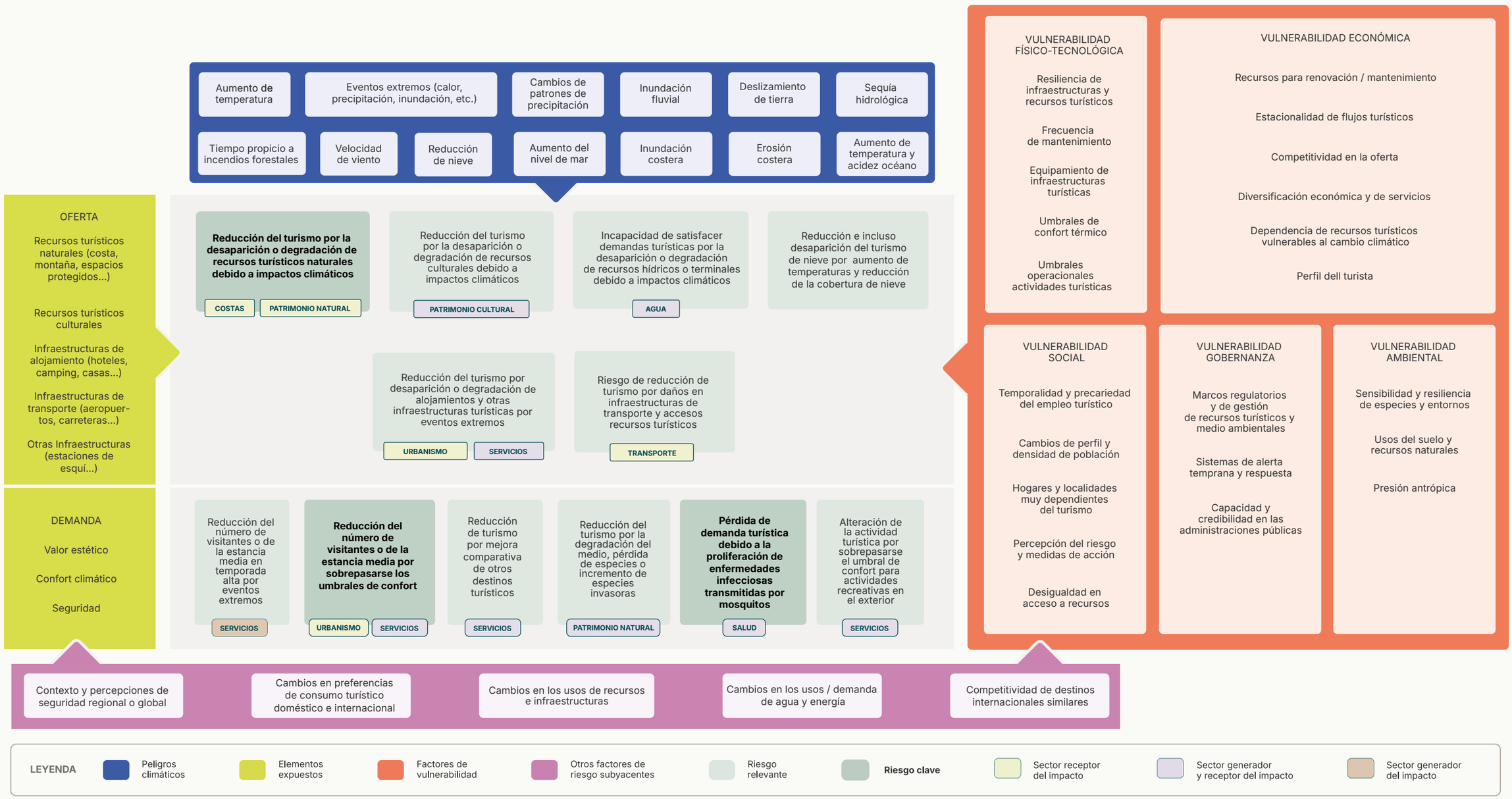


Figura 5. Modelo conceptual del sector Turismo.

4.14. Selección y validación de riesgos relevantes en cada sector

Como resultado del análisis de la bibliografía y referencias existentes, el experto sectorial procedió a la selección de los riesgos relevantes del sector en cuestión, proporcionando un listado preliminar.

Dicho listado fue compartido con la OECC y los expertos del equipo de trabajo para corroborar y validar la selección realizada. El proceso de validación conllevo a cambios de nomenclatura, agregación y desagregación de riesgos, así como la identificación de riesgos adicionales, para la obtención de un listado definitivo de riesgos relevantes. Es este listado que ha sido objeto del análisis multicriterio para la identificación de los riesgos clave dentro de cada sector.

La aplicación de esta metodología se recoge en el capítulo sectorial correspondiente.

4.15. Identificación de riesgos clave

Los riesgos clave se han codificado como RC a lo largo del estudio. El análisis multicriterio (AMC) de los riesgos relevantes permite identificar aquellos riesgos que son clave en cada sector, y que se desarrollaran con más detalle en cada capítulo sectorial.

Esta tarea se centra en la priorización de los riesgos relevantes identificados en la tarea anterior a través de un análisis multicriterio (ver **Figura 2**). Para realizar el AMC, se parte de los criterios de clasificación de riesgos del IPCC. De la lista inicial de doce criterios, se ha reducido el número a nueve, por ser estos los criterios que pueden aplicarse de manera común a la gran mayoría de riesgos con la información disponible. Cada criterio se evalúa en una escala de tres (Bajo, Medio o Alto) con magnitudes de referencia siguiendo el ejemplo de UKCCRA3[10] y EUCRA[11]. La aplicación del AMC pretende ser un ejercicio básico de identificación inicial de riesgos clave, y no una herramienta de análisis detallado. El análisis más en profundidad se lleva a cabo en los riegos clave.

Puesto que los estudios disponibles utilizan distintos horizontes temporales y escenarios climáticos, para la aplicación de estos criterios se toma como referencia un marco temporal a corto-medio plazo (2050-60), con escenarios RCP 4.5 o niveles de calentamiento 1,5-2 Cº; utilizando la tabla de equivalencias IPCC[12] cuando sea necesario.

[10] Watkiss and Betts (2021) Method. The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.

[11] EEA (2024) Annex 2 Method for structured risk assessment. European Climate Risk Assessment.

[12] Ara Begum *et al.*, (2022) Point of Departure and Key Concepts. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

Niveles de calentamiento global por periodos de tiempo (media 20 años) para proyecciones climáticas RCP y SSP (CMIP5 y CMIP6). Referencia 1850-1900.									
Proyección	2021–2040			2041–2060			2081–2100		
RCP2.6	1.0	to	2.2	1.0	to	2.3	0.9	to	2.3
RCP4.5	1.1	to	2.2	1.4	to	2.7	1.8	to	3.3
RCP6.0	1.0	to	2.0	1.3	to	2.5	2.3	to	3.6
RCP8.5	1.1	to	2.6	1.7	to	3.7	3.0	to	6.2
SSP1–1.9	1.0	to	2.4	1.1	to	2.7	1.0	to	2.5
SSP1–2.6	1.0	to	2.4	1.2	to	2.9	1.3	to	3.1
SSP2–4.5	0.9	to	2.5	1.3	to	3.3	1.9	to	4.4
SSP3–7.0	1.0	to	2.6	1.5	to	3.7	2.7	to	6.2
SSP5–8.5	1.0	to	2.7	1.6	to	4.0	3.1	to	7.2

En Table Cross-Chapter Box CLIMATE.1, Ara Begum et al (2022) Point of Departure and Key Concepts. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. WGII AR6 https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-1/

Criterio 1. Alcance espacial del riesgo

Este criterio hace referencia a la amplitud del área geográfica o al número de instalaciones expuestas que podrían verse afectadas por un determinado riesgo. Cuanto mayor sea el área potencialmente impactada, mayor será la magnitud del riesgo. Para su evaluación se emplea una aproximación cuantitativa con dos potenciales escalas: por un lado, la escala de gobernanza, basada en el ámbito de las Comunidades Autónomas; y por otro, la escala territorial, basada en la amplitud del territorio afectado (km^2).

Riesgo	Escala
Bajo	De 0 a 3 CCAA /o menos del 5 % del territorio nacional (25.000 km^2).
Medio	De 4 a 6 CCAA /o entre 5 a 15 % del territorio nacional (75.000 km^2).
Alto	Mas de 6 CCAA/o más de 15 % del territorio nacional.

Criterio 2. Población afectada

Hace referencia a las consecuencias adversas sobre la población, incluyendo, fallecimientos, lesiones, afección socio-económica, malestar o ansiedad, entre otros. Dada la distinta naturaleza de los impactos de los distintos riesgos sobre la población, la escala contempla diferentes niveles de magnitud según la afección, empleando una aproximación cuantitativa.

Riesgo	Escala
Bajo	Menos de 10 muertes, decenas de impactos significativos sobre personas (salud, desplazamiento), miles de personas afectadas (afecciones menores).
Medio	Decenas de muertes, centenas de impactos significativos y decenas de miles de afectados.
Alto	Centenas de muertes, miles de impactos significativos, y cientos de miles de afectados.

Criterio 3. Impacto o peso económico[13]

Este criterio se refiere a la magnitud del impacto económico anual a nivel nacional que podría generar el riesgo evaluado. En algunos sectores, este impacto se estima únicamente a partir del Valor Añadido Bruto (VAB), que a efectos de este análisis se considera equivalente al impacto sobre el Producto Interior Bruto (PIB), al estar en un rango similar de magnitudes. En caso de que no se disponga de estimaciones directas del impacto, se realiza una aproximación basada en el peso económico del sector/subsector en riesgo.

El principio por el que se rigen las escalas es de ordenes de magnitud (decenas, centenas, miles), similar a las escalas utilizadas en la evaluación del Reino Unido (UKCCRA)[14], y por lo tanto no está referenciado a escalas preestablecidas a nivel nacional o europeo. Las indicaciones de porcentaje de PIB[15] son para facilitar la identificación y comprensión de la magnitud dentro de la economía española.

[13] En algunos casos, se ha utilizado el Producto Interno Bruto (PIB) como criterio dentro del análisis multicriterio debido a la disponibilidad de datos consistentes y comparables. No obstante, se reconoce que el PIB no refleja de forma completa otras dimensiones relevantes del valor, como los beneficios ecosistémicos, la biodiversidad o los bienes no monetizados que también aportan significativamente al bienestar y al desarrollo sostenible. Esta limitación debe tenerse en cuenta al interpretar los resultados.

[14] Watkiss and Betts (2021) Method. The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.

[15] El PIB de España en 2023 (tras la revisión estadística RE-2024) es de 1.498.324 millones de euros.

Riesgo	Escala
Bajo	El impacto económico puede afectar negativamente de manera limitada al PIB nacional (decenas de millones de euros, <0,006 % PIB) / o peso económico pequeño (0 a 1 % del PIB nacional).
Medio	El impacto económico puede afectar negativamente de manera significativa al PIB nacional (centenas de millones de euros, entre el 0,006 % y el 0,066 % PIB) / o peso económico mediano (entre el 1 y el 5 % del PIB nacional).
Alto	El impacto económico puede afectar negativamente de manera substancial al PIB nacional (miles de millones de euros, >0,066 % PIB) / o peso económico alto (más del 5 % del PIB nacional).

Criterio 4. Características temporales del riesgo

Este criterio hace referencia al horizonte temporal en el que se materializan las consecuencias negativas del riesgo, así como a su persistencia. Así, los riesgos que tienen una alta probabilidad de materializarse de forma inmediata o en el corto plazo suponen un mayor riesgo.

Riesgo	Escala
Bajo	Alta probabilidad de que los potenciales impactos se produzcan de manera importante a largo plazo (más de 30 años).
Medio	Alta probabilidad de que los potenciales impactos se produzcan de manera importante a medio plazo (entre 10 y 30 años).
Alto	Alta probabilidad de que potenciales impactos ya se están produciendo de manera importante o se prevé que lo sean en un plazo corto de tiempo (menos de 10 años).

Criterio 5. Efectos distributivos negativos graves

Estos efectos se producen cuando las consecuencias del riesgo afectan de forma desigual a diferentes personas, colectivos, especies, patrimonio cultural y natural, o territorios, lo que indica una concentración del riesgo.

Riesgo	Escala
Bajo	La distribución de las consecuencias adversas no incide de manera específica, o lo hace de forma muy limitada en colectivos o territorios especialmente vulnerables.
Medio	La distribución de las consecuencias adversas incide de manera específica en colectivos o territorios especialmente vulnerables.
Alto	La distribución de las consecuencias adversas incide de forma significativa y específica en colectivos o territorios especialmente vulnerables.

Criterio 6. Potencial de desencadenar impactos en cascada

Este criterio se refiere al efecto en cascada que podría desencadenarse cuando la materialización de un riesgo genera una secuencia de eventos secundarios en los sistemas naturales y humanos que provocan trastornos físicos, naturales, sociales o naturales, sociales o económicos, cuyo impacto total resulta mucho mayor que el impacto inicial. Dada la limitada disponibilidad de estudios específicos en la literatura, se realizará una aproximación basada en criterio experto.

Riesgo	Escala
Bajo	El riesgo no produce, o lo hace de manera limitada, efectos en cascada.
Medio	El riesgo puede generar efectos en cascada significativos dentro del mismo sector.
Alto	El riesgo puede desencadenar efectos en cascada más allá de las fronteras del sistema original, afectando a otros sectores o ámbitos.

Criterio 7. Potencial para sobrepasar ciertos umbrales

Este criterio se refiere al potencial de sobrepasar un determinado umbral a partir del cual la magnitud del riesgo aumenta sustancialmente. Estos umbrales pueden ser biofísicos, ingenieriles, de desarrollo o relacionados con políticas públicas o marcos regulatorios.

Riesgo	Escala
Bajo	El potencial de sobrepasar un determinado umbral, a partir del cual la magnitud del riesgo aumenta sustancialmente, es bajo.
Medio	El potencial de sobrepasar un determinado umbral, a partir del cual la magnitud del riesgo aumenta sustancialmente, es medio.
Alto	El potencial de sobrepasar un determinado umbral, a partir del cual la magnitud del riesgo aumenta sustancialmente, es alto.

Criterio 8. Capacidad de recuperación

Este criterio se refiere a aquellos riesgos cuyas consecuencias no son reversibles o son de difícil recuperación. Esto implica un mayor nivel de riesgo en comparación con aquellos que afectan a sistemas más resilientes. Puesto que tanto el horizonte temporal como los recursos necesarios para la recuperación varían entre distinto sistemas, especialmente en los sistemas naturales, no existe una escala común, sino que la evaluación se realiza en función de las características específicas de los receptores del riesgo.

Riesgo	Escala
Bajo	Las consecuencias del riesgo producen daños menores que requieren pocos recursos o se recuperan en un periodo corto de tiempo.
Medio	Las consecuencias del riesgo producen daños que requieren recursos significativos o un plazo medio de tiempo para su recuperación.
Alto	Las consecuencias del riesgo no son reversibles, la recuperación requiere un largo plazo de tiempo, o suponen un coste muy superior al valor del activo.

Criterio 9. Capacidad para adaptarse o reducir el riesgo

Se refiere a la capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias. El riesgo se considera más severo cuando el sistema afectado presenta una capacidad limitada de respuesta ya sea para reducir el peligro, su exposición o su vulnerabilidad.

Riesgo	Escala
Bajo	Hay planes de adaptación que reducen el riesgo y se están ejecutando.
Medio	Hay acciones potencialmente reductoras del riesgo, pero que no se están aplicando.
Alto	No se tiene conocimiento de la existencia de acciones reductoras del riesgo eficaces o eficientes dentro de los recursos disponibles.

Como se ha indicado anteriormente, tres criterios fueron considerados inicialmente, pero se descartó su aplicación independente en esta fase de evaluación de riesgos relevantes.

Criterio	Descripción	Justificación
Probabilidad de que se produzcan dichas consecuencias adversas	Una mayor probabilidad supone a priori un mayor nivel de riesgo sea cual sea la escala.	Este criterio se ha integrado con el criterio “Características temporales del riesgo”, ya que se ha considerado que la probabilidad requiere un marco temporal.
Aceptabilidad social del riesgo	Aquellos riesgos que son socialmente considerados como inaceptables son considerados con mayor severidad.	En el análisis inicial no se han encontrado evidencias sobre la percepción del riesgo para la práctica totalidad de los riesgos relevantes por lo que difícilmente puede utilizarse como un criterio de selección homogéneo. No obstante, los riesgos clave si incorporarán este nivel de análisis.
Impacto sobre las políticas nacionales	Corresponde con los riesgos que impactan negativamente sobre las políticas estratégicas nacionales, como la descarbonización a largo plazo, agenda 2030, entre otras.	Este criterio requeriría un análisis en profundidad de cada riesgo en relación con múltiples políticas estratégicas que excede del cometido del AMC. No obstante, los riesgos clave si incorporarán este nivel de análisis.

La aplicación completa de este AMC a los riesgos relevantes se recogerá en el material complementario descargable a través de la página web del proyecto.

4.16. Selección de riesgos clave

Tras la aplicación del AMC, cada riesgo relevante dentro de cada ámbito obtiene una puntuación. La selección final de riesgos clave sectoriales se lleva a cabo escogiendo los tres riesgos relevantes con mayor puntuación. En caso de empate de puntuación en el tercer clasificado, se incluyen adicionalmente aquellos con los mismos puntos. De esta manera cada ámbito sectorial tendrá entre tres y cinco riesgos clave sobre los que se llevará a cabo un análisis más en profundidad. Algunos riesgos relevantes que, aun no siendo seleccionados como clave, sean considerados significativos, recibirán un desarrollo más amplio en el capítulo sectorial correspondiente para resaltar su importancia. Asimismo, si algún riesgo clave está estrechamente relacionado con otro riesgo clave de un sector distinto, podrá abordarse dentro del análisis del riesgo más integrador de ambos para evitar duplicidades.

5. Análisis de riesgos clave

5.1. Descripción del sector

Cada capítulo sectorial hace una descripción de su alcance en la introducción, para establecer los subsistemas y componentes incluidos en el análisis, así como identificar otros componentes de relevancia que se analicen en otros capítulos sectoriales.

5.2. Descripción de los riesgos clave

El objetivo de esta parte del trabajo es realizar una caracterización exhaustiva de los riesgos clave que permita al usuario de la información entender los elementos principales que inducen ese riesgo, así como sus consecuencias.

Por tanto, el primer paso en el análisis de los riesgos identificados como clave en la fase anterior es el desarrollo de una descripción del mismo que de forma narrativa caracterice el riesgo y sus componentes (ver **Figura 2**), incluyendo procesos y factores que influyen en dicho riesgo (tanto impulsores de riesgo climáticos y no climáticos, como los aspectos socioeconómicos que influyen en la exposición y vulnerabilidad). A modo ilustrativo, se utilizarán cadenas de impacto específicas para cada riesgo clave. Esta descripción se estructura de la siguiente manera:

- Descripción general del riesgo.
- Análisis del peligro. Impulsores de riesgo climáticos y no climáticos.
- Evaluación de la exposición.
- Análisis de la vulnerabilidad.
- Análisis de los Impactos/Consecuencias: riesgos y oportunidades.

- Cadenas de impacto elaboradas mediante un modelo tipo árbol de problemas.

Cadenas de Impacto

Cada componente de la cadena de impacto de un riesgo clave sigue la misma lógica que el modelo conceptual, identificando los peligros, los elementos expuestos y los factores de vulnerabilidad relevantes según tipología, así como impactos e interconexiones. La **Figura 6** debajo refleja , a modo de ejemplo, la cadena de impacto del Riesgo Clave 5.1 Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua, en el Capítulo sectorial - Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación.

Riesgos del cambio climático. Metodología.

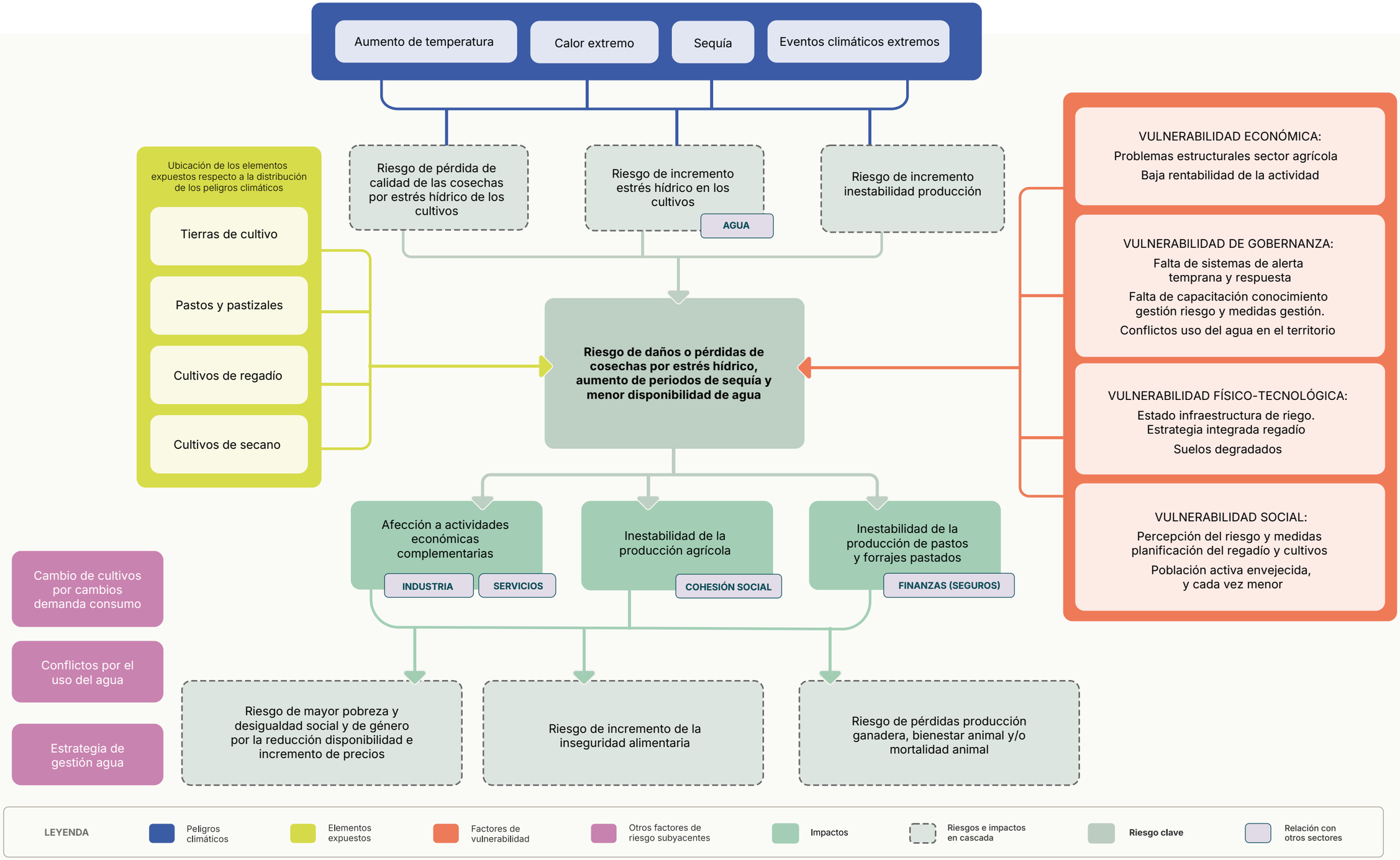


Figura 6. RC5.1. Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.

5.3. Fuentes

Para asegurar la transparencia y trazabilidad, todas las fuentes utilizadas para la identificación y análisis del riesgo clave son citadas a lo largo del texto utilizando preferentemente el sistema de referencias normalizado estilo Harvard[16] y que se utiliza comúnmente en documentos y publicaciones académicas académicos en la bibliografía del capítulo. Dentro del texto las citas pueden tomar dos formas: si el autor es mencionado directamente, se incluye el año de publicación entre paréntesis "apellido (año)", si es una cita estándar se aplica entre paréntesis la formula "(apellidos año)".

En el caso de legislación, el uso común en documentos legales es el código de la ley, que puede dar lugar a confusión a lectores no conocedores de las distintas regulaciones y leyes. El formato Harvard comúnmente requiere indicar el nombre de la ley y año. Dado que algunas piezas de legislación españolas tienen nombres bastante largos, se aplica un Harvard abreviado, por ejemplo:

Código	Nombre completo	Harvard abreviado
Ley 7/2021	Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.	(Ley de cambio climático, 2021).
Ley 8/2011	Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección. de las infraestructuras críticas.	(Ley de infraestructuras críticas, 2011).
Real Decreto 300/2004	Real Decreto 300/2004, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios.	(Real Decreto del seguro de riesgos extraordinarios, 2004).
Real Decreto-ley 4/2023	Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo, por el que se adoptan medidas urgentes en materia agraria y de aguas en respuesta a la sequía y al agravamiento de las condiciones del sector primario derivado del conflicto bélico en Ucrania y de las condiciones climatológicas, así como de promoción del uso del transporte público colectivo terrestre por parte de los jóvenes y prevención de riesgos laborales en episodios de elevadas temperaturas.	(Real Decreto-ley sobre sequía, Ucrania, transporte público y riesgos laborales, 2023).

Todas las citas tienen su referencia bibliográfica completa dentro de la bibliografía de cada capítulo. La excepción es este capítulo de Metodología, que indica las referencias en notas a pie de página, para facilitar la comprensión de cada sección individual.

[16] Se ha permitido cierta flexibilidad en el sistema de referencias, según criterio de los autores de los capítulos, para así reflejar distintos estilos y variaciones entre los diferentes sectores.

5.4. Aspectos transversales

- **Efectos transfronterizos.** Para cada riesgo clave se analizará tanto su potencial para generar efectos transfronterizos —ya sea afectando a países vecinos o recibiendo impactos desde ellos— como la influencia que pueden tener los riesgos originados fuera del territorio nacional sobre ese riesgo. Se identificarán de manera cualitativa los impactos del cambio climático más allá de nuestras fronteras que pueden tener repercusiones importantes en España. Para ello se hará una recopilación de proyectos específicos que están tratando estas cuestiones y se realizará un análisis basado en criterio experto de informes, especialmente de la UE y con cobertura de impactos sectoriales globales (más allá de las fronteras físicas de España) en los que se analice qué impactos en dichos territorios pueden tener efectos transfronterizos en España y viceversa.

- **Vulnerabilidad territorial.** Dado que los impactos se distribuyen de manera desigual en España —debido a su tamaño, las diferencias en niveles de exposición y capacidad adaptativa, así como la diversidad de tipologías territoriales—, se identificarán, para cada riesgo clave, las zonas con mayores niveles de riesgo.

- **Vulnerabilidad social.** Distintos grupos sociales experimentan los impactos de manera desigual, debido a distintos niveles de vulnerabilidad relacionados con variables sociodemográficas, dinámicas económicas y/o demográficas, así como a la capacidad adaptativa. Así, ciertos grupos podrían verse especialmente afectados por determinados peligros climáticos, lo que hace fundamental su identificación para que las políticas públicas y las medidas de adaptación contribuyan efectivamente a reducir tal vulnerabilidad.

- **Maladaptación.** Algunas acciones desarrolladas con el objetivo de evitar o reducir los riesgos derivados del cambio climático pueden tener efectos adversos provocando, en la práctica, un aumento de la vulnerabilidad o la exposición frente al cambio climático. Este efecto indeseable es conocido como “maladaptación” y puede afectar a los sistemas, espacios geográficos o grupos humanos a los que se pretende favorecer, pero también a otros lugares o comunidades, a los que se pueden trasladar los impactos y los riesgos. Se realizará un primer análisis de la información disponible en materia de maladaptación en España. Sin embargo, la literatura en este campo es limitada y que se trata de un concepto cuya definición sigue siendo debatida. Por ello, se trabajará fundamentalmente en la selección de un conjunto de riesgos clave en los que se identificarán posibles causas de maladaptación a la hora de implementar posibles medidas de adaptación. Es decir, más que la identificación de procesos de maladaptación claramente documentados, se considera que esta componente será fundamentalmente de concienciación y advertencia.

- **Enfoque de género.** Inicialmente, todos los análisis de la información existente identificarán de manera específica el enfoque de género, analizando aquellos aspectos que bien por su exposición o vulnerabilidad pueden tener efectos diferenciados entre mujeres y hombres. En el caso de que dicho aspecto no haya sido analizado se hará constar.

5.5. Umbrales críticos

Los umbrales críticos representan niveles a partir de los cuales hay un cambio en las dinámicas del riesgo pudiéndose sobrepasar la capacidad de adaptación o el nivel de riesgo admisible. Los umbrales críticos son especialmente relevantes a la hora de considerar la severidad del riesgo, dado que pueden representar cambios significativos o requerir la implementación de medidas de adaptación. Asimismo, los umbrales son factores que también pueden determinar los límites de adaptación ya sean blando o duros, de acuerdo con la terminología del IPCC.

Por ello, en el marco del proyecto se comenzará por identificar en la literatura aquellos umbrales que hayan sido determinados para los diferentes riesgos clave. Para realizar una clasificación estructurada, se va a considerar la siguiente tipología de umbrales.

- Umbrales biofísicos, rangos y límites del medio natural (incluyendo la biología humana).
- Umbrales ingenieriles, estándares y tolerancias de bienes ante parámetros climáticos.
- Umbrales de desarrollo, donde acciones antropogénicas pierden su efectividad a partir de un punto crítico y se requiere un cambio de opción o estrategia.
- Umbrales de políticas públicas, establecidos legislativamente o vía regulaciones, y que indican niveles de riesgo aceptables o asumibles en el ámbito sociopolítico.

Dado que los umbrales son inherentes al elemento expuesto, su funcionalidad y/o integridad, se analizará si la literatura establece umbrales cuantitativos para las tipologías anteriores y para los diferentes inductores climáticos del riesgo considerado. Estos umbrales serán susceptibles de ser superados para diferentes combinaciones de horizontes temporales y escenarios de emisiones. Si estos umbrales han sido identificados y su magnitud establecida, se incluirá en la caracterización del riesgo clave correspondiente. En el caso de que la identificación de umbrales o su magnitud no aparezca reflejada en la literatura, se utilizará un criterio experto para concienciar sobre la existencia de estos umbrales y las posibles consecuencias de superarlos.

5.6. Identificación de riesgo de bloqueo (lock-in)

Una vez identificados y caracterizados los riesgos clave se realizará un análisis específico para la identificación de posibles riesgos de bloqueo basados en criterio experto. Este bloqueo se refiere a aquellas situaciones en la que el desarrollo futuro de un sistema, incluidas las infraestructuras, las tecnologías, las inversiones, las instituciones y las normas de comportamiento, está determinado o limitado ("bloqueado") por la evolución histórica (IPCC, WGII y WGIII). Estos riesgos están asociados, por ejemplo, a medidas adoptadas que podrían incrementar el riesgo o vulnerabilidad futuras y que pueden ser difíciles o muy costosas de revertir. Esta aproximación es principalmente en forma de descripción cualitativa y podrá incluir, si están disponibles, aspectos relacionados con gobernanza y percepción. Este concepto también se denomina "encerramiento" en algunos glosarios[17].

5.7. Gobernanza

Dada la naturaleza multinivel de la gobernanza en la gestión de riesgo desastres y en la adaptación al cambio climático, para cada riesgo clave se identificará cuáles son las entidades dentro de los diferentes niveles de gobernanza tanto vertical (estatal, CCAA, Diputaciones, Municipalidades) como horizontal. Esto es, no solo para las administraciones con las competencias necesarias para abordar la reducción de dicho riesgo, sino que también incluye otros actores públicos, de la sociedad civil o privados relevantes a los componentes del riesgo.

Por otro lado, se identificarán las políticas o planes existentes para abordar dicho riesgo, sus sinergias y los posibles conflictos con otros planes o estrategias.

Se describen los instrumentos de adaptación y planes de descarbonización/neutralidad climática relevantes a la gestión de cada riesgo clave. Esto incluye, al menos:

- Políticas, estrategias y planes de gestión territorial o sectorial nacionales o regionales en vigor (PNACC 2021-2030, PNIEC 2021-2030);

[17] IPCC, 2018: Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

- Las normas, directrices y códigos de práctica específicos de los sectores afectados (Código Técnico de Edificación);
- Requisitos legales y de otro tipo;
- Planes, compromisos y estrategias supranacionales (Directrices Unión Europea, acuerdos del Consejo de Europa, tratados y acuerdos internacionales, Naciones Unidas...).

5.8. Déficits de información

El análisis de la información y caracterización de riesgos relevantes y claves permitirá tener una visión global de la situación actual del conocimiento del riesgo climático en España por sectores. Por ello, para los riesgos clave —o aquellos riesgos relevantes que así se considere— se identificarán los déficits de información que limiten:

- La caracterización completa del riesgo, sus cadenas de impacto, su distribución espacial y magnitud o sus posibles efectos en cascada e interacción con otros riesgos.
- El nivel de confianza e incertidumbre de su caracterización.

Por ello, se incluirá una sección específica en la que se identifiquen los gaps y necesidades de información priorizada en función de factores tales como: impacto de su cobertura, urgencia o dificultad técnica.

5.9. Evaluación de la severidad de los impactos de riesgos clave

Para la evaluación de los potenciales impactos de los riesgos clave y de su severidad se sigue un proceso de homogeneización que, independientemente de la metodología empleada, permite su aplicación de forma comparada en las fases posteriores del proyecto. Por ello, cada riesgo es evaluado según una tabla con umbrales cuantitativos predefinidos, siguiendo los modelos del CCRA3 del Reino Unido (2021)[18], UNDRR (2022)[19] y EUCRA (2024)[20]. Aunque este ejercicio guarda similitudes con el análisis AMC previo para riesgos relevantes, el objetivo de ésta es establecer una comparativa intersectorial de impactos.

Se incluyen umbrales para daños económicos y para daños sobre las personas (impacto humano). Además, se ha incluido una categoría denominada "Otras categorías" en la que se evalúan daños sobre el territorio, los hábitats y el patrimonio cultural significativo. De esta manera se establece una metodología válida para los 14 ámbitos sectoriales que permite a su vez realizar las estimaciones de la severidad de cada riesgo.

En los casos en los que no haya evidencia cuantitativa que permita un uso de la tabla, los autores del informe y los expertos de área realizarán una aproximación basada en el criterio experto tomando como referencia la lógica utilizada para los umbrales o criterios de selección definidos, teniendo en cuenta la evolución de los peligros climáticos. Si no hubiera suficiente evidencia cuantitativa o experta, quedará indicado de forma expresa.

La severidad de los riesgos se evaluará conforme a los términos ya establecidos en la EUCRA, utilizando una escala de cuatro niveles (de menor a mayor severidad, basada en ordenes de magnitud): Limitada, Sustancial, Critica, Catastrófica.

Los daños económicos se expresan de forma anualizada, como porcentaje del PIB Nacional (1,5 mil millones de euros en 2024) o en valores absolutos equivalentes[21]. El impacto humano se evalúa mediante la mortalidad o los impactos sobre la salud significativos, así como afecciones menores en la población. El daño al territorio se estima por la cantidad de hectáreas dañadas de manera significativa. En cuanto

[18] Watkiss and Betts (2021) Method. The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.

[19] UNDRRR, 2022. 'Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change'.

[20] EEA (2024) Annex 2 Method for structured risk assessment. European Climate Risk Assessment.

[21] Como se indicó en los criterios para el AMC (Sección 4), se ha utilizado el PIB por la disponibilidad de datos consistentes, aunque se reconoce sus limitaciones ya que no captura adecuadamente dimensiones no monetarias de los impactos, relevantes para el bienestar y la sostenibilidad.

a los hábitats, se calcula sobre el porcentaje de espacios naturales protegidos en España que sufren alteraciones significativas. Finalmente, para el patrimonio cultural, se toma como referencia el número de Bienes Culturales Patrimonio de la Humanidad UNESCO perdidos o dañados irreparablemente.

Tabla 2. Elementos de evaluación para los riesgos clave y definición de umbrales.

Severidad del riesgo	Daño Económico (PDTE)	Impacto humano	Otras categorías
Catastrófica	El impacto económico es superior al 1% (15.000 M€) del PIB nacional.	Decenas de miles de muertes o cientos de miles de impactos de salud significativos. Millones de personas afectadas de manera menor.	Cientos de miles de hectáreas dañadas significativamente.
Critica	El impacto económico es entre 0,1 y 1% (1.500 y 15.000 M€) del PIB nacional.	Miles de muertes o decenas de miles de impactos sobre la salud significativos. Centenas de miles de personas afectadas de manera menor.	Decenas de miles de hectáreas, miles de km de costa o decenas de miles de km de ríos dañados significativamente. Mas del 10 % de espacios protegidos o áreas de alto valor ecológico afectados significativamente. Perdida o daño irreversible a más de 5 de los Bienes Patrimonio de la Humanidad UNESCO registrados en España.
Sustancial	El impacto económico es entre 0,01 y 0,1% (150 y 1.500 M€) del PIB nacional.	Centenas de muertes o miles de impactos de salud significativos. Decenas de miles de personas afectadas de manera menor.	Miles de hectáreas, cientos de km de costa o miles de km de ríos dañados significativamente. Del 1% al 10 % de espacios protegidos o áreas de alto valor ecológico afectados significativamente. Perdida o daño irreversible en hasta 5 Bienes Patrimonio de la Humanidad UNESCO registrados en España.
Limitada	El impacto económico es inferior al 0.01% (150 M€) del PIB nacional.	Decenas de muertes o centenas impactos de salud significativos. Miles de personas afectadas de manera menor.	Cientos de hectáreas, decenas de km de costa o centenas de km de ríos dañados significativamente. Menos del 1% de espacios protegidos o áreas de alto valor ecológico afectados significativamente. Pérdida o daño irreversible en un Bien Patrimonio de la Humanidad UNESCO registrado en España.

5.10. Niveles de confianza

Con el fin de que el concepto de riesgo sea comunicado de forma transparente y homogénea, la evaluación del riesgo irá acompañada de una caracterización de los niveles de confianza con criterios equivalentes a los elaborados por el IPCC en sus informes.

Basado en la calidad de las evidencias y el de consenso científico de las publicaciones y autores, los expertos asociarán a la evaluación de los distintos riesgos e impactos analizados un nivel de confianza, tanto desagregada en calidad y consenso, como un nivel general de confianza.

Para ello se utilizarán los criterios que muestra la Tabla 3, utilizando como referencia las escalas establecidas en el estudio CCRA3 del Reino Unido[22].

Tabla 3. Definición de los niveles de confianza para los criterios de calidad y de consenso científico.

Criterios de calidad	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Bajo ◆
Publicación	Académico revisado por pares.	Publicaciones oficiales y literatura gris sujeta a proceso de revisión.	Publicaciones sin acceso abierto o sin proceso de revisión.
Metodología	Metodologías robustas y contrastadas de aplicación generalizada.	Metodologías contrastadas de aplicación limitada.	Metodologías sin contrastar o anecdóticas.
Métodos	Cuantitativos.	Híbridos.	Cualitativos.
Relevancia Temporal	Datos recientes / actualización AR6.	Datos de los últimos diez años sin actualizar a AR6.	Proyecciones antiguas o datos sin actualizar.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[22] Watkiss and Betts (2021) Method. The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Criterios calidad	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Bajo ◆
Consenso	Múltiples fuentes independientes en acuerdo.	Preponderancia de fuentes en acuerdo.	No hay un acuerdo claro.
Validación	Múltiples bases de datos independientes.	Pocas bases de datos.	Una sola base de datos.
Cobertura	Alta cobertura, cubriendo la totalidad del territorio nacional.	Cobertura parcial del territorio nacional. Estudios generalizables a todo el territorio.	Baja cobertura, casos de estudio muy localizados y no generalizables.

Los niveles de confianza se asignan a cada nivel de calentamiento para cada riesgo clave, incluyendo tanto un nivel de confianza general, como una desagregación entre criterios de calidad y de consenso. Además, se incluye un breve texto explicativo del nivel de confianza asignado.

En los casos en los que la literatura de referencia utilizada para la cuantificación de la severidad utilice metodologías del AR5 con escenarios RCP (y no según niveles de calentamiento), se considerará una reducción a la baja del nivel de confianza tanto a nivel general como, especialmente, en el criterio de calidad. Esto se debe a que no hay una metodología robusta para la conversión de escenarios RCP a niveles de calentamiento que no aumente los niveles de incertidumbre. Esta circunstancia se reflejará en el texto explicativo mediante la indicación “estimación basada en conversión de RCP a niveles de calentamiento”.

Se presenta a continuación un ejemplo de caracterización de los niveles de confianza para el "Riesgo Clave 12.1 Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort", en el capítulo de Turismo.

	Niveles de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Alto	· Media · Alto	· Media · Alto	· Baja · Alto
	La metodología indica que ya tendríamos que estar notando el impacto, pero el volumen turístico sigue aumentando. Los factores de aumento exógenos no son identificados por los estudios.	Proyecciones no-dinámicas del sector reducen confianza en datos.	Proyecciones no-dinámicas del sector reducen confianza en datos.	Proyecciones no-dinámicas del sector reducen confianza en datos, aún más a medio-largo plazo.

5.11. Niveles de calentamiento

En este estudio, las estimaciones de la severidad del impacto, y sus correspondientes niveles de confianza, son representadas a lo largo de horizontes temporales (corto, medio y largo plazo), con una correspondencia estimada de tres niveles de calentamiento globales (1,5 °C, 2 °C y 3-4 °C), más la situación actual. Para facilitar las equivalencias con los diversos enfoques dentro de la literatura (con uso más general de RCP y un incremento reciente de SSP), se utilizará la misma tabla de referencia que en el anterior ejercicio de Análisis Multicriterio.

Los horizontes temporales son los mismos que el IPCC, y que también se han aplicado en el EUCRA (EEA 2024): corto plazo (2021-2040), medio plazo (2041-2060), y largo plazo (2081-2100).

Niveles de calentamiento global por periodos de tiempo (media 20 años) para proyecciones climáticas RCP y SSP (CMIP5 y CMIP6). Referencia 1850-1900.									
Proyección	2021–2040			2041–2060			2081–2100		
RCP2.6	1.0	to	2.2	1.0	to	2.3	0.9	to	2.3
RCP4.5	1.1	to	2.2	1.4	to	2.7	1.8	to	3.3
RCP6.0	1.0	to	2.0	1.3	to	2.5	2.3	to	3.6
RCP8.5	1.1	to	2.6	1.7	to	3.7	3.0	to	6.2
SSP1–1.9	1.0	to	2.4	1.1	to	2.7	1.0	to	2.5
SSP1–2.6	1.0	to	2.4	1.2	to	2.9	1.3	to	3.1
SSP2–4.5	0.9	to	2.5	1.3	to	3.3	1.9	to	4.4
SSP3–7.0	1.0	to	2.6	1.5	to	3.7	2.7	to	6.2
SSP5–8.5	1.0	to	2.7	1.6	to	4.0	3.1	to	7.2

En Table Cross-Chapter Box CLIMATE.1, Ara Begum et al (2022) Point of Departure and Key Concepts. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. WGII AR6 https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-1/

Para facilitar la identificación de equivalencias y promover una interpretación homogénea, se considerarán los periodos de referencia de 2021-2040 para 1,5 °C, 2041-2060 para 2 °C, y 2081-2100 para 3-4°C. Estas aproximaciones entran dentro de los rangos IPCC de la tabla anterior en los RCP más comunes de 4.5 y 8.5 (2021-40 entre 1,1 y 2,6 °C; 2041-60 entre 1,4 y 3,7 °C; 2081-2100 entre 1,8 y 6,2 °C) así como los rangos de fechas de referencia para regionalizaciones EURO-CORDEX (Materiales suplementarios en Dossio & Fischer 2018, y Mulholland & Feyer 2021) según nivel de calentamiento (RCP 4.5 y 8.5) de 2018 a 2035 para 1,5°C, 2030 a 2064 para 2°C, y 2071 a 2090 para 4°C (solo en RCP 8.5). Estas siguen las aproximaciones del IPCC (ver tabla 1 del Sumary for Policymaker[23] debajo), aparte del horizonte temporal a más largo plazo, donde se toma una referencia más pesimista para mostrar un escenario más extremo. Esto es en línea con gran parte de la literatura que utiliza proyecciones RCP8.5.

[23] IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].

Table SPM.1 | Changes in global surface temperature, which are assessed based on multiple lines of evidence, for selected 20-year time periods and the five illustrative emissions scenarios considered. Temperature differences relative to the average global surface temperature of the period 1850–1900 are reported in °C. This includes the revised assessment of observed historical warming for the AR5 reference period 1986–2005, which in AR6 is higher by 0.08 [–0.01 to +0.12] °C than in AR5 (see footnote 10). Changes relative to the recent reference period 1995–2014 may be calculated approximately by subtracting 0.85°C, the best estimate of the observed warming from 1850–1900 to 1995–2014.
{Cross-Chapter Box 2.3, 4.3, 4.4, Cross-Section Box TS.1}

	Near term, 2021–2040		Mid-term, 2041–2060		Long term, 2081–2100	
Scenario	Best estimate (°C)	*Very likely* range (°C)	Best estimate (°C)	*Very likely* range (°C)	Best estimate (°C)	*Very likely* range (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 to 1.7	1.6	1.2 to 2.0	1.4	1.0 to 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 to 1.8	1.7	1.3 to 2.2	1.8	1.3 to 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 to 1.8	2.0	1.6 to 2.5	2.7	2.1 to 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 to 1.8	2.1	1.7 to 2.6	3.6	2.8 to 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 to 1.9	2.4	1.9 to 3.0	4.4	3.3 to 5.7

Se trata de una aproximación simplificada y que presenta limitaciones importantes. No obstante, ha sido necesaria para abordar la complejidad metodológica que implica homogeneizar distintas escalas temporales (de línea base y proyecciones), así como diferentes marcos de referencia, como los escenarios RCP, SSP y los niveles de calentamiento. Para un análisis más detallado sobre las ventajas y desventajas del uso de RCP y niveles de calentamiento se remite al capítulo “Variables Climáticas”.

5.12. Recomendaciones de priorización

Cada ficha de riesgos clave, dentro de los capítulos sectoriales, contiene un apartado de "Recomendaciones de priorización", donde se presentan los resultados del análisis de tres factores para afrontar el riesgo: la urgencia en la respuesta, la necesidad de seguimiento, y el tipo de gestión necesaria. Estas recomendaciones sintetizan el análisis desarrollado en el capítulo "Orientaciones para establecer prioridades".

Urgencia	Texto
! Urgencia limitada	No requiere acciones adicionales inmediatas, pero debe permanecer bajo observación para valorar su evolución.
!! Urgencia significativa	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano.
!!! Urgencia máxima	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones.

Seguimiento	Texto
▶ Seguimiento básico	Requiere un seguimiento periódico.
▶▶ Seguimiento intermedio	Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios.
▶▶▶ Seguimiento avanzado	Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo.

Gestión	Texto
● Gestión sectorial	Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.
★ Gestión coordinada	Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

Por ejemplo, según este análisis, el RC7.4 "Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas" se clasifica como de **urgencia máxima**, **seguimiento avanzado** y **gestión sectorial** y se refleja en el apartado de "Recomendaciones de priorización" de la siguiente manera:

Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

Se destacan en el texto aquellas recomendaciones de mayor prioridad.

5.13. Información adicional sobre riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

En este sentido, el análisis de cada riesgo clave, descrito a través del resto de los subapartados del apartado 5 (Análisis de Riesgos Clave) es complementado con los resultados obtenidos en el análisis específico de riesgos complejos y que se describe con mayor grado de detalle en el apartado 7 (Riesgos Complejos) de este mismo documento. Este análisis permite identificar y poner de manifiesto conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta naturaleza compleja, el análisis de riesgos se ha desarrollado mediante un modelo basado en la teoría de grafos, donde cada nodo o vértice del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) reflejan cómo unos riesgos influyen en otros. Este enfoque holístico permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular determinadas métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo clave. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

En cada capítulo sectorial, para cada uno de los riesgos clave, se indica el nivel global de interconexión que tiene con otros riesgos clave, pertenezcan o no al mismo sector. En concreto, se señala qué otros riesgos (nombre y código) influyen sobre él —expresado mediante el valor del grado de entrada en el análisis de riesgos complejos—, y sobre cuáles actúa como generador de potenciales impactos en cascada —recogido a través del valor del grado de salida del modelo—. Esta descripción se complementa con una figura que representa el grafo correspondiente a cada riesgo clave, en la que se muestran los nodos (riesgos) con los que se conecta y el tipo de conexión (entrada o salida), representada mediente flechas.

Finalmente se incluye una tabla resumen, con todos los riesgos clave del sector (en filas), que incluye —clasificado en categorías— los valores de las métricas obtenidas (en columnas), es decir, grado de entrada, grado de salida, intermediación y cercanía.

Las categorías de dichas métricas responden a los valores umbrales que se exponen en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Definición de las categorías de las métricas obtenidas en el análisis de riesgos complejos.

Métrica	Bajo ▼	Medio ▬	Alto ▲
Grado de entrada	< 10	No procede	>= 10
Grado de salida	< 10	No procede	>= 10
Intermediación	0 <= i <= 50	50 < i <= 200	> 200
Cercanía	0 <= c <= 0.005	0.005 < c <= 0.009	> 0.009

Para los valores del grado de entrada y de salida se ha establecido un punto de corte en 10. Dado que en el análisis de riesgos complejos se ha identificado un máximo de 29 conexiones posibles entre riesgos clave, se considera que el grado es alto si supera el 34,4 % de las interconexiones posibles y bajo si no alcanza este umbral.

Por su parte, los valores umbrales de intermediación y cercanía se determinan en función de los percentiles que ocupan los valores obtenidos en el análisis. Los puntos de corte se corresponden con el percentil 25 (límite entre la categoría baja y la categoría media) y el percentil 75 (límite entre la categoría media y la categoría alta).

5.14. Casos de estudio

En cada capítulo sectorial se ha incluido una ficha de caso de estudio, seleccionada con carácter ilustrativo. Muchos de estos casos han sido aportados por comunidades autónomas y permiten mostrar enfoques aplicados a la evaluación de riesgos climáticos, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos territorios y sectores. Su inclusión busca enriquecer el análisis nacional con ejemplos prácticos, contextualizados y representativos de la diversidad temática y territorial del país.

Con el fin de mantener un formato sintético y facilitar la integración en el informe, se ha incluido, salvo excepciones, un único caso por capítulo sectorial. Esta selección no pretende ser exhaustiva ni abarcar todas las experiencias existentes, sino ofrecer ejemplos concretos que reflejen buenas prácticas, enfoques metodológicos y aprendizajes relevantes en la evaluación de riesgos climáticos.

La recopilación de casos se ha realizado priorizando la diversidad y evitando solapamientos. Se han considerado estudios que abordan riesgos clave en contextos locales o sectoriales, así como experiencias innovadoras en la identificación y evaluación de riesgos. La información recogida es de carácter general, sin incluir datos sensibles, y se presenta en formato sintético para facilitar su consulta. Cada ficha incluye información sobre el ámbito territorial, el objeto del proyecto, una descripción general y los aspectos más destacables, que pueden incluir resultados, conclusiones principales u otros elementos relevantes. Estos casos ilustrativos contribuyen a visibilizar buenas prácticas y a fomentar el intercambio de conocimiento entre territorios.

6. Estructura del contenido de los capítulos sectoriales

Teniendo en cuenta los aspectos metodológicos expuestos, así como las fuentes de datos identificadas se propone el siguiente contenido para cada uno de los capítulos sectoriales que se irán desarrollando. Extensión aproximada 40 páginas:

1. Antecedentes

- Contexto, metodología general y estructura del capítulo.

2. Introducción

- Alcance, descripción y solapes con otros sectores.

3. Riesgos relevantes

- Descripción general:
  - **Narrativa** describiendo los tres componentes del riesgo dentro del sector y sus características - Peligro, Exposición, Vulnerabilidad, así como una identificación de potenciales impactos.
  - **Modelo conceptual** del sector (y otros modelos a nivel de subsistema si se estima necesario).
- Descripción y tabla con los riesgos relevantes del sector.

4. Riesgos clave

- Explicación de la aplicación del AMC recogido en anexo:
  - Identificación de riesgos clave, así como otros riesgos significativos si fuera necesario.
- Para cada riesgo clave se incluirá:
  - Descripción de riesgo clave.
  - Cadena de impacto del riesgo clave.
  - Narrativa describiendo los tres componentes del riesgo y sus impactos
  - Ficha.

5. Análisis de riesgos complejos

6. Caso de estudio (con un máximo de dos páginas)

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector:

- Todos los capítulos sectoriales siguen la metodología general, aun así, puede haber particularidades específicas del sector que serán descritas en cada caso ya que se puede requerir de aplicaciones metodológicas adicionales o adaptadas.

- Narrativa de los déficits de información sectoriales identificados en la evaluación de los riesgos derivados del cambio climático.

8. Referencias

- Se incluirán las referencias bibliográficas en esta sección siguiendo mayoritariamente el estilo Harvard en texto (Autor/Año).

Los términos más comunes se incluyen en el Glosario. Aquellos más específicos del sector se incluyen dentro de cada capítulo en forma de notas a pie de página.

Formato de ficha para los riesgos clave

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Para cada nivel de calentamiento se establecerá un nivel de severidad utilizando una escala de cuatro niveles (Limitada, Sustancial, Critica y Catastrófica) según la tabla de categorías de severidad del riesgo (apartado 5.9). Se realizará también una breve narrativa explicando el nivel de severidad resultante.			
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Para cada nivel de calentamiento se establecerá un nivel confianza con dos componentes según las magnitudes incluidas en la Tabla 3. Se llevará a cabo una breve narrativa explicando el nivel de confianza resultante.			

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Posibilidad de ocurrencia de sucesos o tendencias físicas relacionados con el clima o los impactos físicos de este que puede causar la pérdida de vidas, daños u otros impactos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de vida, prestación de servicios, ecosistemas y recursos naturales.	Presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructuras o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente por los peligros climáticos.	Propensión o predisposición a ser afectado negativamente por el cambio climático. Abarca una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para afrontarlo y adaptarse.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los efectos provocados por el cambio climático más allá de las fronteras nacionales y pueden derivar en impactos transmitidos a través de vías diversas, como el comercio, los flujos financieros, las migraciones o los cambios geopolíticos.
Territoriales	Los riesgos derivados del cambio climático no se distribuyen de forma homogénea en el territorio por lo que es necesario incorporar la perspectiva geográfica de los mismos.
Sociales	El cambio climático afecta de manera desigual a distintos grupos de población. La falta de recursos económicos, el estado de salud, o ciertas condiciones sociales —como las barreras lingüísticas o la limitación en el acceso a la información— pueden aumentar la vulnerabilidad de determinados grupos sociales frente a sus impactos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	La maladaptación se refiere a las acciones que pueden conducir a un mayor riesgo de efectos adversos relacionados con el clima, incluyendo el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento o el desplazamiento de la vulnerabilidad al cambio climático, una mayor desigualdad o la disminución del bienestar actual o futuro.
Género	Se integrará el enfoque de género, analizando aquellos factores que, por su relación con la exposición o la vulnerabilidad, puedan tener efectos diferenciados entre mujeres y hombres.

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales críticos representan niveles a partir de los cuales hay un cambio en las dinámicas del riesgo pudiéndose sobrepasar la capacidad de adaptación. Se pueden considerar los umbrales críticos a lo largo de cuatro dimensiones: • Umbrales biofísicos, rangos y límites del medio natural (incluyendo la biología humana). • Umbrales ingenieriles, estándares y tolerancias de bienes ante parámetros climáticos. • Umbrales de desarrollo, donde acciones pierden su efectividad a partir de un punto crítico y se requiere un cambio de opción o estrategia. • Umbrales de políticas públicas, establecidos legislativamente o vía regulaciones, y que indican niveles de riesgo aceptables o asumibles en el ámbito sociopolítico.
Lock-in/Bloqueo	Los riesgos derivados de medidas adoptadas que pueden incrementar el riesgo o vulnerabilidad futuras y que pueden ser difíciles o costosas de revertir. Los riesgos lock-in pueden resultar tanto de la maladaptacion como de decisiones convencionales (business-as-usual) o la ausencia de medidas o decisiones. Dada la dimensión temporal de los riesgos lock-in, es importante identificar el periodo de análisis/duración de efecto de tales riesgos.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	El estudio incluye análisis de los instrumentos de adaptación relevantes a la gestión del riesgo. Esto incluye: • Políticas, estrategias y planes de gestión territorial o sectorial nacionales o regionales en vigor (i.e PNACC 2021-2030). • Las normas, directrices y códigos de práctica específicos de los sectores afectados (i.e Código Técnico de Edificación). • Requisitos legales y de otro tipo. • Planes, compromisos y estrategias supranacionales (i.e. Directrices Unión Europea, acuerdos del Consejo de Europa, tratados y acuerdos internacionales, Naciones Unidas...).
Gobernanza de gestión del riesgo	Marco competencial/regulatorio relevante al riesgo.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Beneficios de la adaptación a este riesgo identificados.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Relación del riesgo tanto como origen y como receptor con las políticas de descarbonización.
Déficits de información	Déficits de información específicos al riesgo. Los generales del sector irán incluidos en la sección del capítulo de Limitaciones y particularidades metodológicas.
Recomendaciones de priorización	Se indican las recomendaciones en los tres pilares: Urgencia, Seguimiento, y Gestión.

Formato Caso de Estudio

Título (corto)

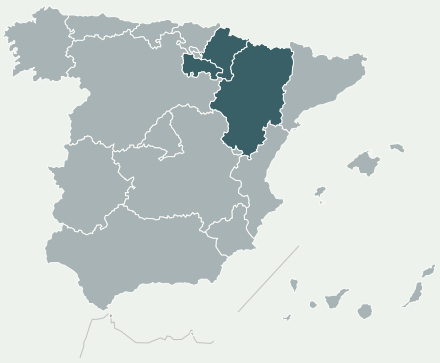
Objeto:

Descripción:

- Enfoque del caso, incluyendo fuentes de datos y si es multisectorial; factores/componentes del riesgo.

Aspectos destacables:

- Incluyendo aspectos transversales, si los hubiera.



Mapa autonómico estándar

Ámbito Territorial:

Sector(es)/subsector:

Entidad(es) del proyecto:

Escala:

- Municipal, región, CCAA, nacional.

Riesgo(s)

- Indicar principales (o múltiples).

Enlaces:

7. Riesgos Complejos

En un mundo altamente interconectado se necesita claridad respecto de las interacciones que generan riesgo. El análisis de esas interacciones se centra en la descripción de las conexiones y riesgos transmitidos entre los sistemas socioeconómicos, ambientales y tecnológicos, creando nuevos riesgos o exacerbando los existentes con consecuencias que pueden ser extremadamente complejas (Simpson *et al.*, 2021[24]).

El análisis de riesgos complejos toma como punto de partida los análisis llevados a cabo para el conjunto de los riesgos abordados de una perspectiva sectorial, y que aparecen descritos en sus correspondientes capítulos. En dichos capítulos se han identificado y caracterizado los riesgos clave en distintos sectores, y se han analizado sus impactos potenciales de forma individual. Esta aproximación es de gran utilidad para profundizar en las particularidades de cada sector, aunque puede presentar ciertas limitaciones a la hora de capturar la complejidad inherente a los sistemas de riesgo actuales. En particular, no permite comprender adecuadamente las interdependencias entre riesgos ni los efectos en cascada que pueden desencadenarse en un contexto de creciente incertidumbre y cambio global.

Esta aproximación busca superar estas limitaciones mediante el desarrollo de un enfoque más integrado y sistémico. El objetivo principal es avanzar hacia una comprensión más holística de los riesgos climáticos, reconociendo que estos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Esta necesidad de integración ha sido ampliamente reconocida tanto en la literatura científica como en los marcos internacionales de evaluación del riesgo.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo analítico basado en teoría de grafos (Stergiopoulos *et al.*, 2015[25]; Sillmann, J., et. al., 2022[26]), una herramienta matemática que permite representar y analizar sistemas compuestos por elementos interconectados. En este caso (**Figura 7**) cada nodo del grafo representa un riesgo identificado, mientras que las aristas dirigidas indican relaciones de influencia entre ellos. Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema de riesgos, identificar nodos clave y calcular métricas que ofrecen información sobre la posición y el papel de cada riesgo dentro de la red.

---

[24] Simpson, N.P. *et al.,* (2021) 'A framework for complex climate change risk assessment', One Earth, 4(4), pp. 489–501. Available at: https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.03.005.

[25] Stergiopoulos *et al.,* (2015). Risk mitigation strategies for critical infrastructures based on graph centrality analysis. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 10, 34-44. https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.05.003.

[26] Sillmann, J., *et al.,* (2022). ISC-UNDRR-RISK KAN Briefing note on systemic risk, Paris, France, International Science Council, DOI: 10.24948/2022.01.

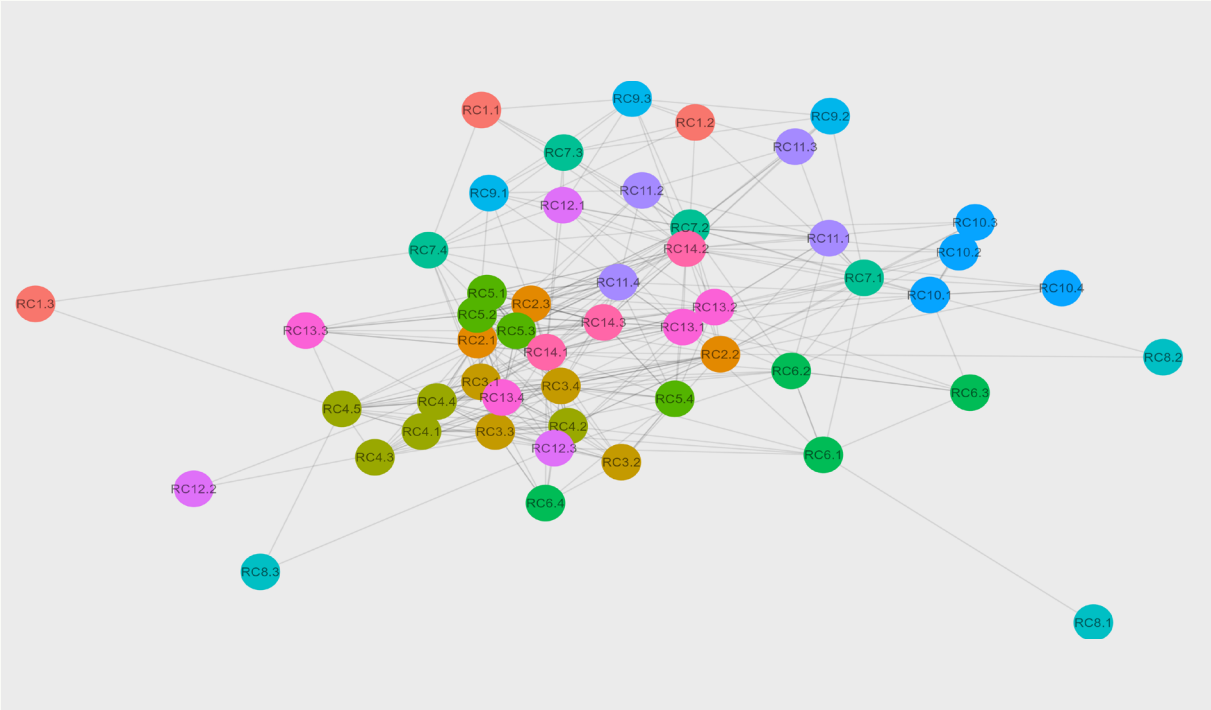


Figura 7. Modelo de riesgos complejos obtenido.

A continuación, se describen de forma detallada estas fases de la metodología.

7.1. Taller de co-creación del modelo

El desarrollo del modelo se ha llevado a cabo mediante un enfoque participativo, que ha incluido la realización de dos talleres con actores clave de distintos sectores. El primer taller tuvo como objetivo presentar el ejercicio, validar la selección de riesgos y establecer las relaciones entre ellos a partir del conocimiento experto de las personas participantes. Para la identificación de las relaciones entre riesgos se estableció un periodo de varias semanas para que rellenasen y enviasen las matrices de adyacencia. Este proceso permitió construir una base sólida y consensuada para el modelo, incorporando múltiples perspectivas sectoriales.

7.2. Desarrollo del modelo

A partir de la información recopilada se han desarrollado varios modelos alternativos que han permitido explorar diferentes configuraciones del sistema de riesgos. Estos modelos varían en función de los

criterios utilizados para establecer las relaciones entre riesgos, lo que permite analizar la robustez de los resultados y comparar distintas hipótesis sobre la dinámica del sistema. Esta estrategia de modelización múltiple responde a la necesidad de capturar la incertidumbre inherente al análisis de sistemas complejos y de ofrecer una visión más completa de las posibles trayectorias de riesgo.

7.3. Análisis de riesgos complejos

Una vez construidos los modelos, se ha procedido al cálculo de diversas métricas de análisis de grafos. El grado de salida se ha utilizado para identificar los riesgos con mayor capacidad de generar impactos en otros, mientras que el grado de entrada ha permitido detectar aquellos más vulnerables a influencias externas. La centralidad de cercanía se ha empleado para evaluar la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema, y la centralidad de intermediación ha permitido identificar los nodos que actúan como puentes en la propagación de efectos. Estas métricas ofrecen una base cuantitativa para priorizar intervenciones, identificar puntos críticos y diseñar estrategias de gestión del riesgo más eficaces.

7.4. Taller de socialización

El segundo taller se centró en la socialización de los resultados preliminares, lo que ha permitido contrastar los hallazgos con la experiencia práctica de los actores involucrados y enriquecer la interpretación de los datos. Esta metodología participativa ha sido fundamental para garantizar la relevancia y aplicabilidad de los resultados, así como para fomentar el diálogo intersectorial y la construcción colectiva de conocimiento.

En conjunto, este enfoque permite avanzar hacia una comprensión más integrada y dinámica de los riesgos climáticos, superando ciertas limitaciones de los análisis sectoriales tradicionales. Al combinar herramientas analíticas rigurosas con procesos participativos inclusivos, el estudio contribuye a fortalecer la capacidad de anticipación y respuesta frente a los desafíos complejos que plantea el cambio climático. Los resultados obtenidos no solo tienen implicaciones para la formulación de políticas públicas, sino que también ofrecen una base sólida para el diseño de estrategias de adaptación y resiliencia que consideren la naturaleza interdependiente y sistémica del riesgo, proporcionando información particular para los capítulos sectoriales en forma de identificación de los riesgos de entrada y salida directos de cada riesgo y para la determinación del grado de urgencia de cada riesgo en función de la posición que ocupa en la red.

8. Orientaciones para establecer prioridades de políticas y medidas de adaptación

En la Evaluación Nacional de los Riesgos e Impactos del Cambio Climático en España (ERICC-2025) se adopta un enfoque integral y progresivo para el análisis de los riesgos climáticos, estructurado en tres aproximaciones complementarias: En primer lugar, se aborda el análisis desde una perspectiva sectorial; en segundo lugar, y dado que los riesgos climáticos no operan de forma aislada, se ha llevado a cabo un análisis de las principales interacciones entre riesgos clave —análisis de riesgos complejos— y por último, se lleva a cabo una aproximación estratégica: una orientación para la toma de decisiones que se aborda en un capítulo independiente.

Este capítulo tiene como objetivo contribuir al proceso de adaptación, identificando dónde es más necesario actuar y en qué medida.

El capítulo “Orientaciones para establecer prioridades” analiza tres factores para afrontar el riesgo: la urgencia en la respuesta, la necesidad de seguimiento, y el tipo de gestión necesaria.

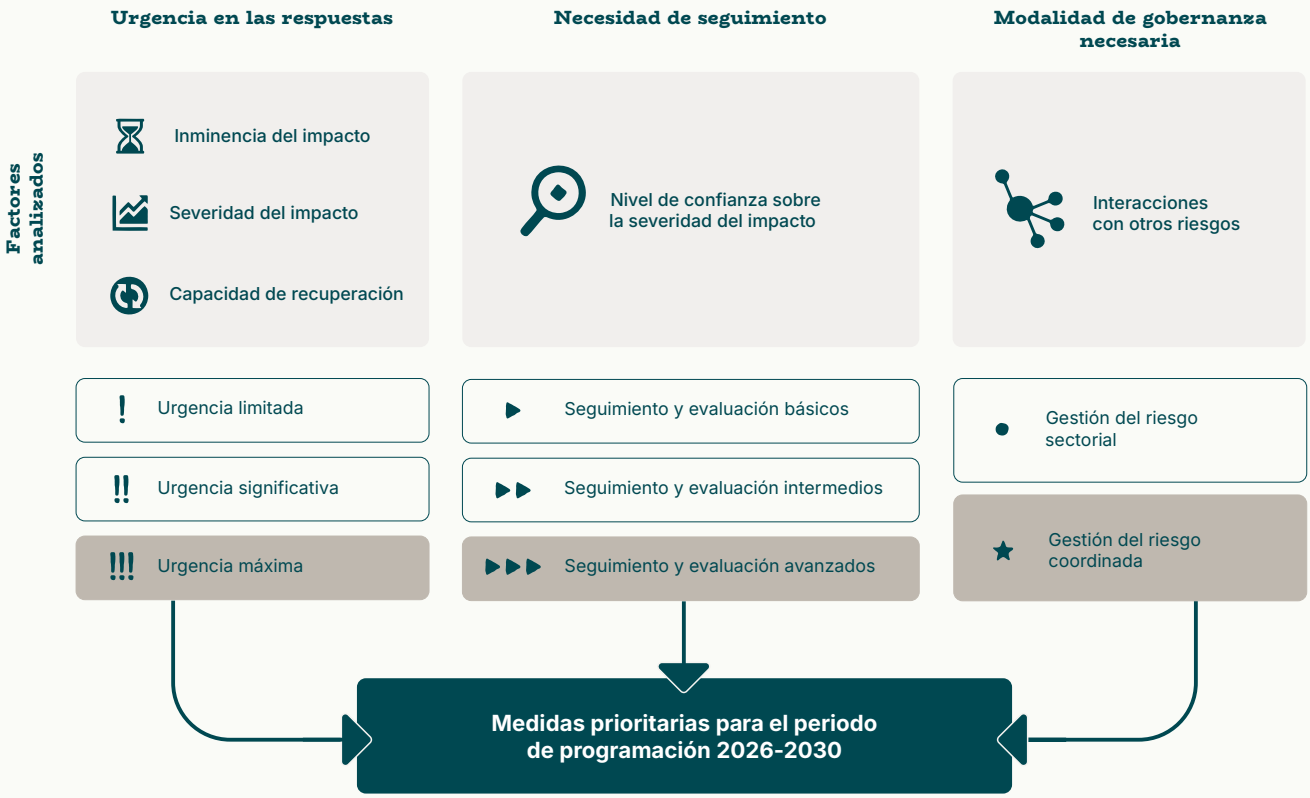


Figura 8. Marco para orientar la priorización de medidas y políticas de adaptación.

8.1. Determinación de la urgencia del riesgo.

La urgencia de un riesgo se calcula a partir de la combinación de tres factores clave analizados previamente para cada riesgo clave en distintas fases del proyecto conforme a la metodología establecida en el proyecto:

- Severidad del impacto esperado: se toma el nivel de impacto de la ficha de riesgo clave para corto y medio plazo, y se pondera la combinación de ambos (70 % Corto / 30 % Medio), para así reflejar su evolución.

- Inminencia o proximidad temporal del riesgo: hace referencia al tiempo que se estima puede transcurrir, desde el periodo de referencia, hasta que se materialice el riesgo de manera significativa. Obtenida del AMC.

- Capacidad de recuperación ante el impacto: Representa la dificultad o facilidad para volver al estado anterior a que suceda el impacto medida en términos temporales. Obtenido del AMC.

Con base en estos tres factores, se clasifica el nivel de urgencia en una de las siguientes categorías:

! Urgencia limitada

Esta categoría se establece para riesgos que no se consideran inminentes y cuyos impactos son moderados o para los que existe una buena capacidad de respuesta y recuperación. No requieren acciones adicionales inmediatas, no obstante, hay que valorar y en su caso programar medidas para afrontar este riesgo. Además, deben permanecer bajo observación para valorar su evolución.

!! Urgencia significativa

Esta categoría se establece para riesgos con impactos relevantes, previsibles en el corto / medio plazo y que requieren planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano.

!!! Urgencia máxima

Esta categoría se establece para riesgos s inminentes y con impactos severos o de difícil recuperación. Requieren respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones.

8.2. Evaluación del nivel de confianza en la severidad de los impactos asociados al riesgo y la consiguiente necesidad de seguimiento.

La priorización debe ser contextualizada en función del nivel de confianza que se tenga en el análisis del riesgo. Esto influye directamente en la intensidad del seguimiento y evaluación recomendados:

Seguimiento básico

Se recomienda cuando el análisis cuenta con datos suficientes y validados. En este caso se requiere un seguimiento periódico. Se posee un nivel de confianza alto en la correspondiente ficha del riesgo (ver capítulos sectoriales).

Seguimiento intermedio

En este caso existen incertidumbres en el análisis (por ejemplo, en la magnitud del impacto o en la exposición). Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Posee un nivel de confianza medio en la correspondiente ficha del riesgo (ver capítulos sectoriales).

Seguimiento avanzado

Se recomienda cuando el nivel de confianza es bajo o muy bajo debido a carencias de información, variabilidad alta o complejidad del fenómeno. En este caso se requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo.

8.3. Consideración de las interacciones entre riesgos, a partir del análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos suelen estar interconectados. Una lectura exclusivamente sectorial puede ocultar efectos en cascada y dinámicas de amplificación del riesgo entre sectores. Para capturar estas dinámicas, se aplica un análisis de riesgos complejos (ver Capítulo Riesgos Complejos, que permite definir la modalidad de gestión más adecuada).

Gestión sectorial

Se recomienda cuando las medidas y políticas para la gestión del riesgo se pueden abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública. Las medidas recomendadas son específicas del sector afectado o en colaboración con uno o dos sectores adicionales. Este enfoque no excluye la necesidad de una coordinación intersectorial.

Gestión Coordinada

El riesgo forma parte de una red densa de interacciones. Es necesaria una gobernanza transversal, con estructuras de toma de decisiones compartidas y planificación conjunta que permita gestionar el riesgo desde perspectivas complementarias.

8.4. Priorización de medidas

La combinación de los tres factores analizados —urgencia, seguimiento y modalidad de gobernanza— permite establecer una base para la priorización de medidas centrándose en aquellos riesgos con valores más altos.

En concreto, deberían priorizarse medidas que den respuesta a:

- Un riesgo considerado de urgencia máxima.
- La necesidad de seguimiento avanzado debido a bajos niveles de confianza.
- La necesidad de gestión integrada, debido a la alta complejidad e interacciones relevantes entre riesgos.

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Variables climáticas

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autores: Iñigo Losada Rodríguez (IH Cantabria), David Lucio Fernández (IH Cantabria)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Losada, I.J. y Lucio, D. (2025) Variables Climáticas. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

Lista de acrónimos / pág. 160

Lista de símbolos / pág. 160

1. Introducción / pág. 161

2. Atmósfera: Observaciones climáticas recientes / pág. 165

3. Atmósfera: proyecciones climáticas futuras / pág. 171

4. Océano: Observaciones climáticas recientes / pág. 177

5. Océano: Proyecciones climáticas futuras / pág. 182

6. Criosfera: Observaciones climáticas recientes / pág. 185

7. Criosfera: Proyecciones climáticas futuras / pág. 188

8. Resumen con las tendencias observadas y proyectadas / pág. 192

9. Bibliografía / pág. 195

Anexo I. El uso de las variables climáticas en el ciclo de la evaluación de riesgo / pág. 198

Anexo II. Fuentes de información climática / pág. 221

Lista de acrónimos

AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
AMOC	Atlantic meridional overturning circulation (Circulación de vuelco meridional del Atlántico)
AR5	Fifth Assessment Report del IPCC (Quinto Informe de Evaluación)
CLIVAR-SPAIN	Red CLIVAR España (nodo nacional de CLIVAR)
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5 (Proyecto de intercomparación de modelos de clima acoplados, Fase 5)
CMIP6	Coupled Model Intercomparison Project, Fase 6 (Proyecto de intercomparación de modelos de clima acoplados, Fase 6)
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
FWI	Fire Weather Index (Índice Meteorológico de Incendios)
GCM	General Circulation Model (Modelo de Circulación General)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)
NSWS	Near-Surface Wind Speed (Velocidad del viento en superficie)
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (incluye PNACC-1 y PNACC-2)
RCM	Regional Climate Model (Modelo Climático Regional)
RCP	Representative Concentration Pathway (Trayectoria Representativa de Concentración: RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5)
SPEI	Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (Índice estandarizado de precipitación-evapotranspiración)
SSP	Shared Socioeconomic Pathway (Trayectoria Socioeconómica Compartida: SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5)
SST	Sea Surface Temperature (Temperatura superficial del mar)
Rx1day	Máximo de precipitación diaria en 1 día (índice de extremos)
Rx5day	Máximo de precipitación acumulada en 5 días consecutivos (índice de extremos)

Lista de símbolos

°C	grados Celsius
%	porcentaje
mm	milímetros
cm	centímetros
m	metros
m/s	metros por segundo
km/h	kilómetros por hora
mm/año	milímetros por año
cm/año	centímetros por año
mm/día	milímetros por día

1. Introducción

El cambio climático representa uno de los mayores retos contemporáneos para la sociedad y la naturaleza. Sus impactos, cada vez más visibles y medibles, están afectando múltiples sectores, desde la salud y el suministro de agua hasta la agricultura, la energía, la infraestructura o el turismo, y requieren la implementación de la adaptación con base en información técnica fiable, contextualizada y útil para la toma de decisiones.

En este contexto, el conocimiento de la evolución pasada y futura de las variables climáticas se convierte en una pieza clave para fundamentar los procesos de adaptación. Estas variables permiten caracterizar los cambios observados y futuros del sistema climático, identificar peligros, evaluar riesgos, diseñar medidas, y hacer seguimiento a su efectividad. Sin embargo, la variedad de fuentes disponibles, la complejidad inherente a los escenarios climáticos, las escalas temporales y espaciales implicadas y la propia incertidumbre de los modelos, pueden dificultar su uso para planificadores, técnicos, responsables sectoriales o decisores políticos que no cuentan con formación especializada en ciencias del clima y su aplicación a la adaptación.

Este capítulo tiene como objetivo proporcionar el conocimiento necesario para entender el comportamiento de las variables climáticas que definen la peligrosidad como parte esencial del riesgo. Asimismo, incluye algunos fundamentos técnicos sobre datos climáticos y su aplicación en el ciclo completo de la adaptación, facilitando así una mejor comprensión a lectores no especializados que estén interesados.

Por tanto, como capítulo introductorio al resto de la evaluación de riesgos, este capítulo ofrece una caracterización general del clima en España, tanto de su evolución histórica como de su posible evolución futura. La información que aquí se presenta proviene fundamentalmente del (CLIVAR-España, 2024), elaborado por la red CLIVAR-España en colaboración con instituciones científicas nacionales, y constituye la fuente más actualizada, rigurosa y consensuada sobre el clima de España. Además, se han empleado otras fuentes, como (AEMET, 2017) (AEMET, 2024), que resume la tercera entrega de la generación de proyecciones regionalizadas para España, ambas publicaciones elaboradas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Junto con estas referencias sobre la base física del clima, resulta fundamental mencionar dos informes clave sobre impactos y riesgos derivados del cambio climático en España sobre los que se sustenta este análisis. El informe final del (Proyecto ECCE, 2005) constituyó el primer ejercicio sistemático de análisis sectorial de los efectos del cambio climático, sirviendo de referencia para

el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC-1). Posteriormente, el informe (Sanz & Galán, 2021) actualizó y amplió esta aproximación en el marco del PNACC-2, incorporando el enfoque de riesgos climáticos en línea con el IPCC, e integrando de manera explícita la relación entre peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. Ambos documentos, aunque centrados en los impactos y en la adaptación sectorial, cuentan también con información específica relativa a la peligrosidad que puede ser de interés.

La caracterización climática es esencial para establecer la componente de peligrosidad climática. El concepto de peligro o peligrosidad hace referencia al potencial de que un fenómeno climático o proceso físico, como un evento extremo (inundaciones, olas de calor, tormentas, sequías) o una tendencia gradual (aumento del nivel del mar, desertificación), cause daños a personas, infraestructuras, ecosistemas o actividades socioeconómicas. Según el marco conceptual del IPCC, que es la base metodológica que sustenta el trabajo presentado en esta revisión, el peligro no se limita a describir la existencia del fenómeno, sino que incorpora tanto sus características físicas (magnitud, duración, intensidad) como su probabilidad de ocurrencia, de forma que constituye un elemento dinámico dentro de la evaluación del riesgo climático.

Obsérvese que, a lo largo de todo el informe de riesgos, se emplea de forma intencionada el término peligrosidad en lugar de amenaza. Aunque ambos conceptos pueden parecer intercambiables, la amenaza tiene un carácter más genérico o subjetivo, mientras que la peligrosidad está definida por las características cuantificables de un fenómeno físico. Utilizar «peligrosidad» permite alinear el análisis con los marcos del IPCC y el Marco de Sendai, facilitando una evaluación objetiva, comparable y orientada a la planificación.

La estructura de este capítulo distingue entre dos bloques. En el primero se analizan las tendencias climáticas observadas y, en el segundo, las proyecciones disponibles para cada uno de los tres grandes subsistemas del sistema climático terrestre con base en la literatura existente para España. Más concretamente, se hace uso de:

- Observaciones climáticas recientes, basadas en registros instrumentales y empíricos que permiten caracterizar la evolución del clima en España desde mediados del siglo XX.

- Proyecciones climáticas futuras, derivadas de modelos climáticos globales y regionalizaciones dinámicas y estadísticas[1], bajo distintas trayectorias socioeconómicas y escenarios de emisiones (SSP-RCP, por sus siglas en inglés) y horizontes temporales (2050 y 2100). Estas

[1] Regionalizaciones generadas mediante modelos climáticos regionales (RCM) y métodos de regionalización estadística empírica (ESD).

proyecciones corresponden, principalmente, a los resultados de las simulaciones de las iniciativas globales CMIP5 y CMIP6, así como a la iniciativa regional CORDEX.

Dentro de cada uno de estos bloques, la información se organiza en torno a los siguientes subsistemas:

- Atmósfera, que comprende variables como temperatura, precipitación, viento, humedad y fenómenos extremos.
- Océano, que incorpora temperatura, salinidad, nivel del mar, acidificación y circulación marina.
- Criosfera, que incluye nieve, hielo, glaciares y permafrost.

Para caracterizar la evolución del clima, se han seleccionado para cada subsistema un conjunto de variables e indicadores climáticos representativos. Estos permiten describir cuantitativamente la evolución observada y proyectada del clima, si bien no constituyen una lista completa, pues otras variables e indicadores pueden ser más apropiados en función del contexto sectorial o geográfico del análisis de riesgo.

Para cada subsistema se presenta además una síntesis estructurada mediante tablas que resumen las principales variables climáticas, las tendencias observadas o proyectadas, los valores cuantitativos disponibles, los niveles de incertidumbre y los sectores potencialmente afectados. Además, se aportan comentarios físicos breves y referencias a la regionalización de los fenómenos para facilitar su integración en análisis de riesgo sectoriales y planes de adaptación climática.

Como se verá, las tablas incluyen una asignación cualitativa sobre la incertidumbre asociada a la información presentada con el fin de orientar la interpretación de los resultados. Especialmente, en el contexto del análisis de riesgos climáticos y la toma de decisiones de las políticas de adaptación. Esta estimación del nivel de incertidumbre asociado a cada proyección o tendencia climática es específica de la peligrosidad, y se ha realizado a partir de los siguientes criterios:

- **Valoraciones explícitas del informe.** Siempre que se disponga de una evaluación directa de la incertidumbre o de la confianza en los resultados (por ejemplo, indicando que una señal es robusta, débil o con alta dispersión), se ha respetado dicha categorización.
- **Consistencia intermodelo.** En los casos en que no se aporta una calificación directa, se ha considerado la coherencia de los resultados entre distintos modelos climáticos (globales y regionales). Una señal robusta y coherente entre modelos y escenarios justifica una baja

incertidumbre, mientras que la divergencia entre modelos indica media o alta incertidumbre.

- **Resolución y cobertura de datos.** Las variables con datos observacionales de alta calidad, cobertura temporal extensa y buena resolución espacial (por ejemplo, temperatura del aire o nivel del mar) presentan menor incertidumbre. Por el contrario, variables con escasa cobertura (como oxígeno disuelto, productividad marina o circulación oceánica profunda) se clasifican con incertidumbre alta.

- **Complejidad del proceso físico.** Cuando la variable depende de procesos mal representados en los modelos climáticos (por ejemplo, retroalimentaciones biogeoquímicas, mezclas verticales oceánicas, cambios en la circulación atmosférica regional), se ha asignado un mayor nivel de incertidumbre.

Finalmente, aunque se han incluido también algunas conclusiones en relación con los sectores afectados por los cambios en el clima, la información detallada al respecto se encuentra en cada uno de los capítulos sectoriales incluidos en el informe de riesgos.

Acompañando a este capítulo se presentan dos Anexos. El primero de ellos, está dedicado a identificar de dónde provienen los datos climáticos necesarios y más comúnmente utilizados en adaptación, describiendo cómo se organiza la información y las técnicas habitualmente empleadas en materia de ciencia climática para su caracterización. Está orientado principalmente a aquellos lectores que quieran entender con mayor detalle la información que se presenta en el cuerpo del capítulo. En el segundo Anexo se presenta una selección no exhaustiva de fuentes científicas, portales de datos y herramientas útiles para ampliar o aplicar la información descrita.

2. Atmósfera: Observaciones climáticas recientes

Las observaciones instrumentales del clima en España (AEMET, 2024) muestran señales claras de calentamiento sostenido, aumento de extremos térmicos y una mayor variabilidad hidrológica. Se estima que el aumento de la **temperatura media** en España ha sido de 1,69 ºC desde 1961 hasta 2024. Estudios detallados de series instrumentales (CLIVAR-España, 2024) estiman una tendencia de +0.21 ºC por década desde 1961 hasta 2018, con diferencias estacionales: mayor en verano (+0.27 ºC por década), seguida de primavera (+0.24 ºC por década) y más moderada en otoño e invierno (+0.16 ºC por década).

Una de las consecuencias más evidentes del cambio climático es el **incremento de días cálidos y la disminución de días fríos**. En el decenio comprendido entre 2015 y 2024 se registraron 209 récords de días cálidos y 7 récords de días fríos (mientras que el valor esperable teórico son 52 récords de cada tipo en ese período). En España peninsular, Ceuta, Melilla y Baleares, se estimó, para el periodo 1961-2018, un incremento de 0,20 ºC por década para las **temperaturas máximas** y de 0,21 ºC por década para las **mínimas**, observándose un aumento en ambas variables en los últimos años. Se observa que los aumentos de temperatura no se han producido de manera uniforme en todos los meses, sino que han sido específicos de determinados meses, en particular marzo y diciembre, así como junio y julio en menor medida, para la temperatura máxima; y agosto y octubre para la temperatura mínima.

Las **olas de calor** son más frecuentes, intensas y duraderas. Se ha observado un incremento en la frecuencia (+0,3 eventos/década), intensidad (+0,1 ºC /década), duración (+0,9 días/década para la duración máxima anual) y extensión espacial (+1,3 % de la Península Ibérica/ década) durante el periodo 1951-2019. Sin embargo, analizando periodos más recientes se observan aumentos en la frecuencia, alcanzando una tendencia de +1,0 a +2,6 eventos de olas de calor por década durante el periodo 1979-2017. Además, el inicio de la estación de las olas de calor se produce antes en el tiempo (4 días/década), lo que da lugar a una estación cálida más prolongada. En cuanto a los impactos espaciales, la región más afectada en términos de frecuencia es el centro de la Península Ibérica, mientras que el norte y sureste del Mediterráneo son las regiones más afectadas en términos de intensidad, y las regiones del sur y noreste de la Península sufren la mayor duración.

Merecen especial atención las islas Canarias debido a las particularidades de su ubicación y características geográficas y climáticas. Las Islas Canarias están experimentando temperaturas más elevadas especialmente en verano, lo que conlleva una mayor frecuencia de olas de calor.

El número de días de **helada** por año disminuyó para la Península Ibérica durante el periodo 1975-2018, dando lugar a un incremento del periodo libre de heladas debido a un retraso de las heladas otoñales (+0,4 a +1,06 días/año) y a la disminución de las heladas primaverales tempranas (-0,43 a -1,29 días/año). Esta reducción en el número de heladas fue más pronunciada en las estaciones de mayor altitud, así como el incremento del periodo libre de heladas.

Aunque la **precipitación anual** no muestra una tendencia clara, existe consenso en la confirmación de un descenso de las precipitaciones en marzo y junio y un ligero aumento en octubre (Martín, y otros, 2024). Al mismo tiempo, se observa que la intensidad de **eventos extremos de precipitación** ha aumentado, especialmente en el este peninsular, siendo la zona del Mediterráneo la más sensible a los extremos, en la que se observa un aumento de los eventos de precipitación torrencial extrema (≥ 200 mm/día), tanto en magnitud como en frecuencia. Las tendencias de las precipitaciones extremas no están claras para todo el territorio o período temporal, pero se ha comprobado un aumento de los eventos convectivos, lo que lleva a un aumento de los eventos de precipitaciones elevadas, especialmente a finales de otoño, probablemente relacionado con un mar Mediterráneo más cálido. En cuanto al **granizo**, se observa un incremento de eventos de granizo de gran tamaño, en los que puede estar influyendo también la alta temperatura del mar (Calvo-Sancho, y otros, 2024). En lo que respecta a los fenómenos de **nieve** en la Península Ibérica, se caracterizan por una elevada variabilidad interanual, lo que dificulta la identificación de tendencias a corto plazo. Sin embargo, los registros de nieve más largos muestran una disminución en la duración de la capa de nieve y su acumulación máxima (ver apartado sobre Criosfera).

La persistencia e intensidad de **sequías meteorológicas** también ha aumentado, medido mediante índices como el SPEI, afectando sobre todo al sureste peninsular y valle del Ebro. El siglo XXI registra la mayor frecuencia de sequías severas de los últimos 150 años. Aunque las cantidades de precipitación anual se han mantenido en torno a valores promedio, el incremento de las temperaturas ha provocado una mayor demanda evapotranspirativa de la atmósfera, lo que ha intensificado la duración y severidad de estos episodios.

Por otro lado, se ha observado una disminución de la **velocidad media del viento** superficial, con posibles implicaciones para la generación eólica y los patrones de evapotranspiración. La velocidad del viento superficial en España y Portugal ha disminuido hasta 2010, a un ritmo anual de aproximadamente -0,15 $m*s^{-1}$/década ($p < 0,05$), siendo seguido por un cese de la quietud o un periodo de fortalecimiento del viento débil y no significativo de +0,04 $m*s^{-1}$/ década.

Consideraciones físicas y regionales

- Mayor calentamiento en verano y en zonas interiores, especialmente en la cuenca mediterránea.
- Aumento más acusado de las temperaturas mínimas nocturnas, lo que incrementa la frecuencia de noches cálidas con efectos en salud y ecosistemas.
- Adelanto y prolongación de la estación cálida, debido al inicio más temprano y final más tardío de las olas de calor.
- Eventos convectivos más frecuentes en la fachada mediterránea, favorecidos por un mar más cálido y condiciones atmosféricas inestables.
- Reducción de la velocidad del viento superficial, posiblemente asociada a cambios en los patrones de circulación atmosférica regional.
- Disminución de la cobertura nival y de su acumulación máxima en sistemas montañosos, especialmente Pirineos y Sistema Central, con consecuencias para los recursos hídricos.
- Sequías más persistentes e intensas, ligadas a la combinación de variables de mayor demanda evapotranspirativa, con especial impacto en el sureste del valle del Ebro.
- Mayor vulnerabilidad de la región mediterránea, que concentra múltiples riesgos: olas de calor, lluvias torrenciales, olas de calor marinas y eventos convectivos extremos.

Sectores potencialmente afectados

- Salud pública (olas de calor, noches cálidas).
- Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (sequías, lluvias intensas, heladas tardías, granizo).
- Forestal (olas de calor, sequías, incendios).
- Agua y recursos hídricos (sequías persistentes, reducción de nieve, mayor evapotranspiración).
- Costas y medio marino (eventos extremos, inundaciones).

- Energía renovable (viento superficial, más radiación solar, menor aportación hídrica).
- Infraestructuras (eventos extremos).
- Patrimonio cultural (eventos extremos térmicos, inundaciones).
- Patrimonio natural (olas de calor, sequías, pérdida de nieve).
- Urbanismo (isla de calor, estrés hídrico).
- Financiero y asegurador (eventos extremos).
- Turismo (olas de calor, reducción de nieve).

A continuación, en la **Tabla 1**, se presenta a modo de síntesis, las principales tendencias observadas de las variables climáticas relativas a la atmósfera identificadas en la evaluación sectorial.

Tabla 1. Resumen de la evolución histórica reciente variables climáticas principales de la atmósfera en España.

Variable climática	Periodo observado	Indicador utilizado	Tendencia observada	Valor cuantitativo / región destacada	Nivel incerti-dumbre	Sectores impactados
Temperatura media anual	1961-2024	Promedio anual	Aumento sostenido	+1.69 °C desde 1961; +0.21°C / década; Mayor en verano con 0.27 °C/década	Baja	Salud, energía, agricultura
Temperaturas máximas y mínimas	1961-2018	Promedio anual, máximo anual y mínimo anual	Aumento sostenido	+0.20 °C/década (máximas); +0.21°C/década (mínimas)	Baja	Agricultura, salud, patrimonio natural
Días cálidos / fríos	2015-2024	Número de días	Aumento sostenido de días cálidos, descenso sostenido días fríos	209 récords de días cálidos vs 7 de días fríos (esperable 52 de cada uno)	Baja	Salud, urbanismo
Olas de calor	1951-2019 / 1979–2017	Frecuencia, intensidad, duración y extensión	Incremento fuerte	+0.3 eventos/ década (1951-2019); +1.0-2.6 eventos/década (1979-2017); inicio 4 días antes/década	Baja	Salud, turismo, urbanismo
Días de helada	1975-2018	Eventos/ año	Disminución sostenida	-0.43 a -1,29 días/año en primavera; retraso otoñal +0.4 a +1.06 días/año	Baja	Agricultura, financiero

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Variable climática	Periodo observado	Indicador utilizado	Tendencia observada	Valor cuantitativo / región destacada	Nivel incerti-dumbre	Sectores impactados
Precipitación media anual	1951-2021	Promedio anual	Sin tendencia clara	Descenso en marzo y junio, ligero aumento en octubre; fuerte variabilidad	Alta	Agricultura, agua, energía
Precipitación extrema	1951–2021	Rx1day (máx. diaria) ≥200 mm/día	Aumento de intensidad	Aumento eventos torrenciales	Media	Infraes-tructura, agricultura, urbanismo
Granizo	1980-2020	Intensidad	Incremento de eventos extremos	Incremento de eventos de granizo de gran tamaño, asociados a un Mediterráneo cálido	Alta	Agricultura, infraes-tructura, financiero
Nieve	1960-2020	Duración y acumulación capa nival	Reducción	Disminución en duración y acumulación máxima (Pirineos, Sistema Central)	Media	Recursos hídricos, turismo, energía
Sequías meteorológicas	1980–2020	SPEI	Mayor intensidad y duración	Siglo XXI: mayor frecuencia en 150 años; Especialmente en sureste y valle del Ebro	Media	Agricultura, patrimonio natural, energía
Velocidad del viento en superficie	1961–2010	Velocidad media anual	Disminución generalizada	-0.15m/s por década (hasta 2010); repunte no significativo +0.04 m/s/ década	Media	Energía eólica, transporte

3. Atmósfera: proyecciones climáticas futuras

Las proyecciones climáticas bajo diferentes escenarios de emisiones sugieren una España más cálida, seca y con extremos intensificados hacia final de siglo XXI. El descenso de precipitación anual es probable en casi todo el territorio, más acusado en el sur y sureste, mientras que en el norte y noroeste la señal es más incierta. En paralelo, se proyecta un aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos, incluyendo olas de calor, precipitaciones intensas y periodos secos.

Las **temperaturas máximas, medias y mínimas** en la España peninsular muestran un claro aumento progresivo a lo largo del siglo XXI, siendo más acusado en verano y bajo el escenario más emisivo (RCP8.5). Tanto en máximas como en mínimas, el incremento es más intenso en verano y otoño que en invierno y primavera, y resulta especialmente marcado en las zonas del interior y del este peninsular, mientras que en el norte se proyectan aumentos más moderados. Para el periodo 2081–2100, las proyecciones indican que, en escala anual, los aumentos de temperatura oscilarían entre +4.2 °C y +6.4 °C en el escenario RCP8.5, entre +3.0 °C y +4.0 °C en el escenario RCP6.0, y entre +2.0 °C y +3.4 °C en el escenario RCP4.5. Los cambios más notables se esperan en verano, con incrementos medios superiores a +5 °C, y con una mayor incertidumbre asociada tanto a los modelos climáticos como a las técnicas de regionalización (AEMET, 2017).

Respecto a la duración de **las olas de calor,** existe concordancia entre todas las proyecciones y técnicas de regionalización en que las olas de calor serán más largas, siendo el incremento más acusado en el escenario más emisivo (RCP8.5) y a finales del siglo XXI. En promedio, la duración de la ola de calor más larga tendría entre 15 a 50 días más que su promedio en el periodo de referencia (1971-2000) en la España peninsular. La magnitud del cambio de este índice difiere de unas comunidades autónomas a otras, con cambios menores en Galicia, comunidades de la cornisa cantábrica y La Rioja y cambios mayores en Murcia, Baleares y sobre todo en Canarias (AEMET, 2017).

Para España peninsular, se observa una disminución del número anual de días de **helada** con una evolución muy similar entre los escenarios hasta 2050 y un descenso más pronunciado para el escenario de mayores emisiones (en torno a los 26 días en los métodos estadísticos y

40 días en la regionalización dinámica para el periodo 2081-2100 en RCP8.5). Por comunidades autónomas, prácticamente no se aprecian cambios en ambos archipiélagos, localizándose las variaciones menores en las comunidades del norte, Comunidad Valenciana y Región de Murcia, todas ellas zonas costeras y con pocos días de heladas; y las variaciones mayores en Castilla y León y Aragón.

En el caso de Canarias, se espera que las Islas Canarias experimenten aumentos significativos de temperatura (hasta +4,2 °C a finales de siglo según el escenario RCP8.5) y una disminución sustancial de las precipitaciones (alrededor del 30 %). Esto agudizará las condiciones de sequía, especialmente en altitudes más altas.

En el caso de las **precipitaciones**, para la España peninsular, la concordancia entre proyecciones es menor que para las temperaturas, por lo que las conclusiones son menos sólidas, pudiéndose apreciar ligeras disminuciones a lo largo de la segunda mitad del siglo. Analizando la magnitud del cambio de las precipitaciones, se espera una reducción de las precipitaciones medias en la España peninsular para los últimos veinte años del siglo XXI, con valores relativos a los del periodo de referencia (1961-1990) entre un -16 % y un -4 %. En la primavera esta reducción estaría entre el -24 % y el 0 % mientras que en el otoño la horquilla iría del –4 % al 4 %. En cuanto a las **precipitaciones extrema**, se estima que los sistemas aislados de precipitaciones que provocan fenómenos extremos serán mayores y más intensos a medida que aumente la temperatura. Para la Península Ibérica, se espera que los sistemas de precipitaciones más grandes aumenten en número, intensidad y tamaño, mientras que los sistemas de tamaño intermedio disminuirían en número. Sin embargo, se observan claras diferencias en los métodos de regionalización. Este diferente comportamiento conduce a conclusiones más inciertas respecto a su evolución futura. En lo que respecta al **granizo**, se espera un aumento de su severidad, con un incremento del tamaño del granizo y más eventos de alto impacto (Calvo-Sancho, y otros, 2024) (Martín, y otros, 2024). Finalmente, en cuanto al fenómeno nival, en el Pirineo se observa que la **nieve** precipitada máxima aumentaría considerablemente, frente a una reducción de los valores medios, lo que pone de manifiesto un cambio en el patrón de precipitaciones hacia un modelo más extremo. Esto, asociado a un incremento de temperaturas, puede tener importantes implicaciones en las fusiones máximas (para más información sobre el manto nival, ver el apartado sobre Criosfera).

Junto con el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones, se agravará la escasez de agua en zonas ya secas. Así, se proyecta una tendencia hacia climas más áridos sobre la Península Ibérica y el sur de Europa. Se constata una notable reducción de la **humedad relativa** en la Península Ibérica durante todas las estaciones y todos los escenarios climáticos, pero especialmente durante el verano, provocada principalmente por el aumento de

las temperaturas y la mayor demanda evaporativa de la atmósfera. Una reducción proyectada de las precipitaciones en el sur de la Península Ibérica, combinada con un mayor aumento de la demanda de evaporación atmosférica, puede conducir a una disminución de la humedad del suelo y un aumento de las condiciones de **aridez**. También se prevé que los cambios en las condiciones de **sequía** aumenten tanto en frecuencia como en gravedad, siendo consistentes los resultados de estudios globales y regionales.

En lo que respecta al **viento**, existe una elevada incertidumbre sobre la evolución de la velocidad del viento superficial a final de siglo. En general, las proyecciones apuntan a cambios poco significativos en la velocidad media anual, con una ligera tendencia a la disminución a final de siglo, aunque con posibles aumentos locales en verano en regiones como el valle del Ebro, el Estrecho o Andalucía. En el caso del número de eventos con vientos de intensidades medias (>70 km/h) se refleja un decrecimiento progresivo hasta finales de siglo, mientras que para **vientos intensos** (>90 km/h) se da un incremento leve generalizado en casi toda la Península Ibérica en el futuro cercano y medio, principalmente en el norte excepto en la costa del Mar Cantábrico, siendo mayor en el primer periodo y perdiendo intensidad a lo largo del siglo (Grupo de Meteorología de Santander, 2018). Respecto a los ciclones y episodios de ciclogénesis explosiva, la mayoría de los estudios no proyectan cambios significativos en su frecuencia, aunque algunos resultados sugieren una ligera tendencia al aumento bajo escenarios de altas emisiones (RCP8.5) hacia finales del siglo XXI (Lopez-Marti, y otros, 2025).

El peligro de incendio se incrementa notablemente en el centro, este y sur peninsular, junto con el noroeste (Galicia y zonas colindantes del norte-centro peninsular), especialmente en la cuenca mediterránea. El cambio del régimen de lluvias (mayor irregularidad) y el aumento de las temperaturas, favorece las **condiciones propicias para que los incendios forestales** sean más virulentos y extensos, dada la mayor dificultad para extinguirlos con un mayor volumen de combustible expuesto a periodos de sequía cada vez más prolongados. Las proyecciones climáticas apuntan a un aumento de las condiciones de peligro de incendios, siendo más frecuentes (se prevé que la frecuencia de incendios inducidos por el calor aumente en un 14 % a finales de siglo (2071-2100) en el escenario RCP 4.5, y en un 30 % en el RCP 8.5 en la cuenca mediterránea), con eventos más extremos y temporadas de peligro más largas (se espera se extiendan hasta junio y, en menor medida, hasta septiembre). La región mediterránea tiene una alta sensibilidad a los incendios meteorológicos, y esta sensibilidad aumentará en un futuro próximo, especialmente en el escenario de altas emisiones (RCP 8.5). En conjunto, se espera un aumento del índice *Fire Weather Index* (FWI) en la Península Ibérica central y oriental, y también un alargamiento de la estación de incendios y de las condiciones medias de la FWI en las zonas atlánticas.

Consideraciones físicas y regionales

- Aumento de la subsidencia subtropical y bloqueo anticiclónico en verano, lo que intensifica la sequía estival y prolonga la estación cálida.
- Mayor calentamiento en zonas turísticas litorales, con especial impacto en Mediterráneo y archipiélagos.
- Diferencias entre modelos GCM y RCM en viento y precipitación, lo que incrementa la incertidumbre.
- Mayor incremento térmico en el interior y sureste peninsular respecto al norte y zonas atlánticas, reforzando los contrastes regionales.
- Mayor frecuencia y duración de olas de calor en Canarias y Mediterráneo.
- Mayor reducción de días de helada en áreas de montaña (Pirineos, Sistema Central).
- Tendencia hacia climas más áridos en el sur y sureste peninsular.
- Aumento proyectado del riesgo de incendio en la cuenca mediterránea y centro peninsular, con prolongación de la temporada de incendios.
- Mayor incertidumbre en precipitaciones extremas, con posibilidad de intensificación en el Mediterráneo, pero disparidad en otras regiones.
- Posibles aumentos locales de viento en verano en el valle del Ebro, Estrecho y Andalucía, frente a la tendencia general de estabilidad o ligera disminución en la media anual.

Sectores potencialmente afectados

- Agricultura, ganadería, pesca y alimentación (Sequias, lluvias intensas, heladas tardías, granizo, olas de calor).
- Salud pública (olas de calor, noches cálidas).
- Forestal (Olas de calor, sequías, incendios).

- Agua y recursos hídricos (sequias persistentes, reducción de nieve, mayor evapotranspiración, cambios en precipitación).
- Costas y medio marino (olas de calor marinas, eventos extremos).
- Turismo (índices bioclimáticos extremos).
- Patrimonio natural (olas de calor, sequias, incendios).
- Energía (variabilidad de viento superficial, mayor radiación solar, menor aportación hídrica para hidroeléctrica).
- Infraestructuras (eventos extremos, inundaciones).
- Patrimonio cultural (eventos extremos térmicos, inundaciones).
- Urbanismo (isla de calor urbana, estrés hídrico, lluvias torrenciales).
- Financiero y asegurador (Eventos extremos, mayor frecuencia de sequías e inundaciones).

A continuación, en la **Tabla 2**, se presenta a modo de síntesis, las principales proyecciones de las variables climáticas relativas a la atmósfera identificadas en la evaluación sectorial.

Tabla 2. Resumen de las proyecciones futuras de las variables climáticas principales de la atmósfera en España

Variable climática	Escenario RCP	Horizonte temporal	Estadístico usado	Proyección esperada	Zona más afectada	Nivel incertidumbre	Sectores impactados
Temperatura (mínima, media y máxima)	RCP4.5 / RCP6.0 / RCP8.5	2100	Media anual	RCP4.5: entre +2.0 °C y +3.4 °C; RCP6.0: entre +3.0 °C y +4.0 °C; RCP8.5: entre 4.2 °C y +6.4 °C	Interior y este peninsular, Mediterráneo	Baja (señal robusta)	Salud, turismo, agricultura, energía
Olas de calor	RCP8.5	2100	Duración máxima	Incremento notable en la duración: entre +15 y +50 días respecto al periodo de referencia (1971–2000)	Toda España, especialmente interior y Canarias	Baja (señal robusta)	Salud, urbanismo, agricultura, turismo
Helada	RCP8.5	2100	Número de días de helada/año	Disminución generalizada; -26 días (métodos estadísticos) a -40 días (regionalización dinámica)	Interior peninsular (Castilla y León, Aragón); menores cambios en zonas costeras y archipiélago	Media (signo robusto, magnitud dependiente del método)	Agricultura, patrimonio natural, agua, financiero
Precipitación media	RCP8.5	2100	Total anual	-4 % a -16 % anual (-24 % en primavera, -4 % a +4 % en otoño)	Sur y sureste, valle del Ebro	Alta (señal poco robusta)	Agricultura, recursos hídricos
Precipitación extrema	RCP8.5	2100	Episodios extremos	Aumento en frecuencia, intensidad y tamaño de los sistemas de precipitación más extremos	Mediterráneo oriental	Alta (dependencia método regionalización)	Infraestructura, medioambiente
Nieve	Ver apartado sobre Criosfera						
Granizo	RCP8.5	2100	Frecuencia e intensidad/diámetro	Aumento de severidad (tamaño) y de eventos de alto impacto	Zonas propensas a tormentas convectivas (interior y este peninsular, valle del Ebro, cuenca mediterránea)	Alta	Agricultura, financiero y asegurador
Humedad relativa	RCP4.5 y RCP8.5	2100	Promedio estacional	Notable reducción en todas las estaciones y escenarios, más acusada en verano por mayor demanda evaporativa	Península Ibérica, especialmente sur y zonas interiores	Media (proyecciones consistentes, aunque dependientes del balance temperatura–precipitación)	Agricultura, recursos hídricos, salud pública
Aridez	RCP8.5	2100	Índices de aridez y balance hídrico	Tendencia hacia climas más áridos; reducción de la humedad del suelo asociada a menor precipitación y mayor evaporación	Sur peninsular y cuencas mediterráneas	Alta (dependencia de proyecciones de precipitación)	Agricultura, recursos hídricos, ecosistemas terrestres
Sequías	RCP8.5	2100	Frecuencia e intensidad	Aumento tanto en frecuencia como en gravedad de las condiciones de sequía, consistente en estudios globales y regionales	Sur y sureste peninsular; cuencas del Ebro y Guadalquivir	Media–alta (señal consistente, pero magnitud variable según modelos)	Agricultura, recursos hídricos, energía hidroeléctrica
Viento medio	RCP8.5	2100	Velocidad media	Cambios poco significativos; ligera tendencia a la disminución, con posibles aumentos locales en verano	Valle del Ebro, Estrecho, Andalucía	Alta	Energía eólica, transporte, calidad del aire
Viento extremo	RCP8.5	2100	Frecuencia de eventos (>70 y >90 km/h) y ciclogénesis	Descenso progresivo de vientos >70 km/h; leve incremento de eventos >90 km/h en norte peninsular (excepto costa Cantábrica) en futuro cercano y medio, perdiendo intensidad hacia finales de siglo; ciclogénesis sin cambios significativos o con ligera tendencia al aumento	Norte peninsular (excepto costa Cantábrica); Atlántico noreste	Muy alta (gran dispersión entre modelos y métodos de regionalización)	Transporte, sector asegurador
Condiciones meteorológicas de incendio (Ocurrencia conjunta de condiciones extremas de temperatura, viento, sequía y humedad relativa)	RCP4.5 y RCP8.5	2100	Fire Weather Index (FWI)	Incremento notable del peligro de incendios: frecuencia de incendios inducidos por calor +14 % en RCP4.5 y +30 % en RCP8.5 en la cuenca mediterránea; mayor virulencia y extensión de los incendios; alargamiento de la temporada de riesgo (desde junio y hasta septiembre); aumento del FWI en la Península Ibérica central y oriental y en zonas atlánticas	Centro, este y sur peninsular; Galicia y norte-centro; cuenca mediterránea (alta sensibilidad)	Media (señal consistente, magnitud variable según modelo/escenario)	Ecosistemas, gestión forestal

4. Océano: Observaciones climáticas recientes

Las observaciones del océano en aguas españolas muestran señales inequívocas de calentamiento, aumento del nivel medio del mar, cambios en el oleaje y transformaciones químicas que reflejan el impacto del cambio climático en el medio marino.

La **temperatura superficial del mar (SST)** ha experimentado un incremento sostenido desde mediados del siglo XX. En 2024, la temperatura media alcanzó 20,0 °C, lo que supone una anomalía de +0,7 °C respecto al promedio 1991–2020, situándose como el segundo valor más alto de la serie iniciada en 1940. Este calentamiento ha favorecido la proliferación de olas de calor marinas en el Mediterráneo occidental y Canarias, caracterizadas por su persistencia, mayor extensión espacial y récords de intensidad, con efectos constatados sobre praderas de Posidonia oceánica, arrecifes, especies comerciales y actividades recreativas.

El **nivel medio del mar** presenta una tendencia positiva robusta. Los registros de altimetría satelital (1993–2023) indican un ascenso de +3 mm/año, en línea con las series de mareógrafos (como la de Alicante, con más de 100 años de datos). A esta tendencia de fondo se suma la **marea meteorológica**, generada por los vientos y campos de presión sobre la superficie del océano, que puede aportar oscilaciones adicionales de hasta ±40 cm en las costas españolas. La combinación de ambos factores ha incrementado la frecuencia de episodios de inundación costera en áreas urbanas bajas y en deltas como el del Ebro y el Guadalquivir. Además, la **subsidencia** (hundimiento en áreas como el noroeste peninsular, −0,7 mm/año, o Delta del Ebro de -1,5 mm/año a -3 mm/año) modula el nivel relativo del mar y condiciona la exposición local.

Respecto al **oleaje**, las boyas y reanálisis muestran una tendencia de ligero aumento de la altura significante y del periodo pico en el Atlántico norte y Cantábrico, asociada a una intensificación de temporales invernales vinculados a borrascas profundas. En cambio, en el Golfo de Cádiz se han observado descensos en la altura de ola, mientras que en el Mediterráneo las tendencias son más heterogéneas: ligeros descensos en Costa Brava, aumentos del periodo medio en Baleares y cambios en la dirección predominante en el litoral oriental. Estas modificaciones del régimen de oleaje influyen en los procesos de transporte sedimentario, erosión e inundación costera, así como de la fiabilidad y operatividad portuaria.

La marea meteorológica y el oleaje, junto al ascenso sostenido del nivel medio del mar, se combinan para intensificar los riesgos de inundación y erosión costera. Estos episodios son especialmente relevantes en zonas bajas, deltas, marismas y áreas litorales urbanas. Un ejemplo destacado se produjo en 2014 en la costa cantábrica, donde la concurrencia de eventos extremos de oleaje y nivel del mar provocó pérdidas económicas estimadas en 25 millones de euros.

Las propiedades químicas del océano también muestran cambios claros. Se observa una tendencia de **acidificación oceánica,** con descensos de pH de entre −0,01 y −0,04 unidades por década, en mayor medida en el Mediterráneo, lo que afecta a la calcificación de moluscos, corales y organismos planctónicos. En paralelo, se detectan reducciones en el oxígeno disuelto en aguas intermedias y profundas, atribuibles a la mayor estratificación de la columna de agua y a la disminución de la ventilación oceánica. Este proceso se traduce en una menor disponibilidad de oxígeno en hábitats críticos, con implicaciones para especies comerciales y para la resiliencia de ecosistemas marinos.

La **estratificación térmica y salina** de la columna de agua se ha intensificado, lo que reduce la mezcla vertical y limita el aporte de nutrientes a la superficie. Este fenómeno ha sido más acusado en el Mediterráneo, donde además se observa un aumento sostenido de la salinidad, asociado a la evaporación neta positiva y al calentamiento regional. Todo ello genera condiciones que afectan tanto a la productividad primaria como a la estructura de las comunidades marinas.

Consideraciones físicas y regionales

- Mayor calentamiento superficial del agua del mar en Mediterráneo occidental y Canarias, con récords recientes de olas de calor marinas.
- Ascenso del nivel medio del mar (+3 mm/año desde 1993), modulados localmente por marea meteorológica y subsidencia.
- Ligero incremento de altura significante y periodo pico en el Cantábrico; descenso en Golfo de Cádiz; señales mixtas en Mediterráneo.
- Mayor frecuencia de inundaciones costeras por la interacción de marea meteorológica, oleaje y aumento del nivel medio.
- Descenso progresivo del pH oceánico, especialmente en cuencas mediterráneas.

- Disminución del oxígeno disuelto en aguas intermedias y profundas, ligada a mayor estratificación.
- Aumento de la salinidad y estratificación en el Mediterráneo, con implicaciones en productividad y biodiversidad.

Sectores potencialmente afectados

- Costas e infraestructuras litorales (nivel del mar, oleaje extremo, inundación costera).
- Pesca y acuicultura (temperatura superficial, oxígeno disuelto, acidificación).
- Turismo (olas de calor marinas, inundación costera, erosión costera).
- Puertos (oleaje, nivel del mar, marea meteorológica).
- Biodiversidad y ecosistemas marinos (acidificación, pérdida de oxígeno, estrés térmico, salinidad).
- Financiero y asegurador (eventos extremos, inundación costera).

A continuación, en la **Tabla 3**, se presenta a modo de síntesis, las principales tendencias observadas de las variables climáticas relativas al océano identificadas en la evaluación sectorial.

Tabla 3. Resumen de la evolución histórica reciente de las variables oceánicas principales en España

Variable climática	Periodo observado	Indicador utilizado	Tendencia observada	Valor cuantitativo / región destacada	Nivel incerti-dumbre	Sectores impactados
Temperatura superficial del mar (SST)	1940–2024 (serie reaná-lisis)	Temperatura media anual	Aumento sostenido	20,0 °C en 2024 (+0,7 °C respecto 1991–2020); mayor en Medite-rráneo occidental y Canarias	Baja	Pesca y acui-cultura, turismo, biodiversidad/ ecosistemas
Olas de calor marinas	Últimas décadas, in-tensificación reciente	Frecuencia, duración, extensión espacial	Aumento en per-sistencia, extensión e intensidad	Récords recientes en Medi-terráneo occidental y Canarias	Baja	Biodiversidad/ ecosistemas, turismo, pesca
Nivel medio del mar	1993–2023 (altimetría satelital); >100 años (mareó-grafos)	Incremento anual	Ascenso sostenido	+3 mm/año	Baja	Costas e infraestructu-ras, puertos, financiero-ase-gurador
Marea me-teorológica	1948–2024 (serie reaná-lisis)	Valor puntual	Variabilidad espa-cio-tem-poral	Hasta ±40 cm en costas españolas	Baja	Inundación costera, puer-tos, financie-ro-asegurador
Subsidencia	1990-2020	Promedio anual	Descenso de terreno	Variabilidad espacial; Hasta −0,7 mm/año (Noroeste); −0,3 a −0,6 mm/año Golfo de Cádiz; −1,5 a −3 mm/ año Delta del Ebro	Media	Costas e in-fraestructuras

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Variable climática	Periodo observado	Indicador utilizado	Tendencia observada	Valor cuantitativo / región destacada	Nivel incerti-dumbre	Sectores impactados
Oleaje	1948-2024 (serie de reanálisis)	Altura significante, periodo pico, dirección predomi-nante	Mixta, se-gún región	Incremento ligero en Cantábrico y Atlánti-co norte; descenso en Golfo de Cádiz; hete-rogéneo en Medite-rráneo (ej. aumento periodo medio en Baleares)	Baja	Puertos, costas, transporte sedimentario, infraestructuras
pH oceánico (acidifica-ción)	1995-2024	Variación de pH	Descenso progresivo	−0,01 a −0,04 uni-dades/dé-cada (más acusado en Mediterrá-neo)	Media	Biodiversidad, pesca y acui-cultura
Oxígeno disuelto	1990-2024	Variación concentra-ción	Descenso	Reducción en cuencas medite-rráneas y zonas estratifica-das	Media	Pesca y acuicultura, biodiversidad
Estratifica-ción térmica y salina	Últimas déca-das	Diferencia temperatura superfi-cie-fondo	Intensifica-ción	Medite-rráneo: aumento salinidad sostenido	Media	Productivi-dad primaria, biodiversidad, pesca

5. Océano: Proyecciones climáticas futuras

Las proyecciones oceánicas para las aguas que rodean la Península Ibérica y los archipiélagos españoles indican transformaciones significativas a lo largo del siglo XXI, como consecuencia directa del aumento global de gases de efecto invernadero. Bajo escenarios de altas emisiones (como SSP5-8.5), se prevén cambios sustanciales en la temperatura superficial del mar, el nivel medio del mar, la acidez, la concentración de oxígeno disuelto y la circulación oceánica. Estos cambios repercutirán no solo en la dinámica física del océano, sino también en los ecosistemas marinos, la pesca, el turismo y las infraestructuras costeras.

Consideraciones físicas y regionales

- **Nivel del mar.** Se proyecta una subida media de entre 50 y 60 cm para 2100, siendo mayores en el Atlántico que en el Mediterráneo. Esta subida es el resultado de la expansión térmica del agua, el deshielo de glaciares y capas de hielo, y las variaciones regionales debidas a corrientes y redistribución de masas.

- **Temperatura superficial del mar (SST).** El mar Mediterráneo se calienta más rápidamente que el Atlántico. Para 2100, se prevé un aumento de hasta 3 ºC en el Mediterráneo y de 2 ºC en el Atlántico, con consecuencias sobre la biodiversidad y la intensidad de fenómenos extremos marinos.

- **Acidificación.** La disminución del pH oceánico puede alcanzar −0.3 a −0.4 unidades para 2100, lo que afecta especialmente a organismos calcificantes como moluscos, corales y plancton.

- **Oxígeno disuelto.** La pérdida de oxígeno afecta la productividad marina. Se estima una reducción del 2 % al 4 %, especialmente en el Atlántico y el Mar Cantábrico.

- **Circulación oceánica (AMOC).** La Circulación Meridional de Retorno del Atlántico (AMOC), que regula el clima europeo, podría debilitarse hasta un 39 % hacia finales de siglo bajo el escenario SSP5-8.5, con elevada incertidumbre debido a la dispersión entre modelos

(17 %-55 %). Este debilitamiento afectaría el régimen de lluvias en el oeste peninsular, al nivel del mar en el Atlántico y a la conectividad biológica marina.

Sectores afectados

- Zonas costeras e infraestructuras (Aumento del nivel medio del mar y modificación de los patrones de energía del oleaje).
- Pesca y acuicultura (Alteración de las condiciones fisicoquímicas del océano).
- Ecosistemas marinos (Olas de calor marinas, modificación de las propiedades fisicoquímicas del océano).

A continuación, en la **Tabla 4**, se presenta a modo de síntesis, las principales proyecciones las variables climáticas relativas al océano identificadas en la evaluación sectorial.

Tabla 4. Resumen de las proyecciones futuras de las variables oceánicas principales en España para 2100 (SSP-8.5)

Variable oceánica	Indicador / Métrica	Proyección esperada 2100	Región más afectada	Incertidumbre	Comentarios / Consideraciones	Sectores afectados
Nivel medio del mar	Altura relativa	+60 cm Atlántico / +50 cm Mediterráneo	Costa atlántica, Baleares	Baja	Máximo en costa atlántica; se espera +20 cm para 2050	Costas, urbanismo, infraestructuras
Temperatura superficial del mar (SST)	Incremento medio anual	+2 °C (Atlántico) / +3 °C (Mediterráneo)	Mediterráneo occidental	Media	Mayor calentamiento estival; incremento de olas de calor marinas	Pesca, turismo, acuicultura
Acidificación	Descenso del pH	−0.3 a −0.4 unidades	Generalizado	Media	Afecta organismos calcificantes y cadenas tróficas	Ecosistemas, pesca, acuicultura
Oxígeno disuelto	Reducción concentración	−2 % a −4 %	Atlántico, Cantábrico	Alta	Puede afectar hábitats profundos y productividad primaria	Pesca, biodiversidad marina
Circulación AMOC	Reducción de intensidad	−39 % (17 %-55 %)	Atlántico norte	Alta	Impacto en clima regional, subida del mar en costa atlántica	Corrientes, clima, conectividad biológica
Oleaje extremo	Altura significante del oleaje	Ligero aumento proyectado (+5–10 %)	Galicia, Cantábrico	Alta	Potencial aumento de impactos en costas expuestas	Infraestructuras, riesgos litorales

6. Criosfera: Observaciones climáticas recientes

La criosfera ibérica, compuesta por glaciares, permafrost, nieve estacional y formaciones de hielo en cuevas, está experimentando una degradación acelerada como consecuencia del calentamiento global, lo cual tiene implicaciones directas en la disponibilidad de recursos hídricos, el turismo de montaña, la estabilidad geotécnica de alta montaña y la conservación de registros paleoclimáticos.

Desde 1980, los glaciares pirenaicos han perdido más del 60 % de su superficie, y muchos de ellos están cerca de su desaparición. Este retroceso se debe al aumento sostenido de las temperaturas y a una reducción de la acumulación nival invernal. Asimismo, el permafrost de alta montaña, especialmente en el Pirineo central, está mostrando claros signos de degradación, mientras que en Sierra Nevada ya se considera funcionalmente inexistente.

La duración de la capa de nieve disminuye de forma significativa, con pérdidas de entre 1 y 2 días por década, afectando a ecosistemas de montaña, actividades recreativas y la gestión del agua. Las cuevas de hielo, valiosos archivos naturales de clima pasado pierden espesor a un ritmo de 30–40 cm por año. En conjunto, se estima que la altitud mínima para la persistencia de procesos fríos ha ascendido entre 100 y 150 metros desde 1990, restringiendo aún más la distribución espacial de estos procesos.

Consideraciones físicas y regionales

- La criosfera se encuentra confinada a las altas cotas del Pirineo, con fenómenos residuales en Picos de Europa y Sierra Nevada.
- El retroceso de glaciares y la fusión del permafrost modifican los balances hídricos estacionales, con menor aporte en verano.
- Existe alta incertidumbre en la monitorización de permafrost en regiones con poco instrumental y series cortas.

Sectores potencialmente afectados

- Recursos hídricos (Glaciares, permafrost).
- Turismo de montaña (Glaciares, permafrost, nieve).

A continuación, en la **Tabla 5**, se presenta a modo de síntesis, las principales tendencias observadas de las variables climáticas relativas a la criosfera identificadas en la evaluación sectorial.

Tabla 5. Resumen de la evolución histórica reciente de los elementos principales de la criosfera en la Península Ibérica.

Elemento	Indicador climático utilizado	Tendencia observada	Valor cuantitativo estimado	Periodo observado	Región más afectada	Nivel de incertidumbre	Sectores impactados
Glaciares (Pirineos)	Superficie y espesor glaciar	Disminución rápida	−60 % desde 1980; <20 glaciares activos	1980–2020	Pirineo central	Baja–media	Recursos hídricos, turismo
Permafrost	Presencia y temperatura del suelo	Retroceso severo	Desaparición en Sierra Nevada; degradación activa en Pirineos	En curso	Sierra Nevada, Pirineos	Alta	Infraestructura, procesos geotécnicos
Capa de nieve	Duración y acumulación nival	Disminución sostenida	−1 a −2 días por década; −20 % acumulación máxima	1970–2020	Todas las cordilleras	Media	Agua, turismo, ecosistemas
Cuevas de hielo	Espesor y volumen de hielo	Pérdida acelerada	−30 a −40 cm/año; >50 % de pérdida desde 1980	1980–2020	Pirineos, Sistema Ibérico	Alta	Ciencia, conservación de registros climáticos
Altitud procesos fríos	Altitud mínima de nieve/suelo helado persistente	Ascenso progresivo	+100 a +150 m desde 1990	1990–2020	Pirineos	Media	Biodiversidad, evolución ecosistemas

7. Criosfera: Proyecciones climáticas futuras

Las proyecciones climáticas coinciden en señalar que la criosfera en España continuará experimentando un marcado retroceso a lo largo del siglo XXI, condicionado por el aumento de las temperaturas y los cambios en el régimen de precipitaciones. Los glaciares, la nieve estacional, el permafrost de alta montaña y los procesos ligados a la altitud muestran una fuerte sensibilidad al calentamiento proyectado, con pérdidas aceleradas bajo los escenarios de mayores emisiones.

En los Pirineos, los modelos indican una disminución sustancial de la superficie y espesor de nieve. Para mediados de siglo (2041–2070), bajo el escenario RCP4.5, la duración de la **cobertura nival** podría reducirse entre un 25 % y 40 %, mientras que bajo el escenario RCP8.5 las pérdidas alcanzarían valores de 50 % a 70 % en altitudes medias (1.500–2.000 m). Hacia finales de siglo (2081–2100), la **temporada de nieve** se acortaría entre 1 y 2 meses respecto al periodo de referencia (1971–2000), siendo más acusado el descenso en primavera y otoño, con implicaciones directas en la disponibilidad de recursos hídricos.

En lo que respecta a los **glaciares pirenaicos**, su retroceso continuará de forma acelerada. Estudios recientes proyectan que bajo RCP8.5, prácticamente desaparecerán antes de 2050, con pérdidas superiores al 95 % de la superficie actual. Bajo un escenario intermedio (RCP4.5), se mantendrían algunos pequeños glaciares relictos en las cotas más elevadas (>3.000 m), pero con una reducción drástica de su volumen y funcionalidad hidrológica.

El **permafrost** de alta montaña, restringido a enclaves del Pirineo central, también se encuentra en franco retroceso. Los modelos apuntan a su desaparición prácticamente completa antes de 2050 bajo RCP8.5, y solo a una conservación residual y discontinua en el escenario más optimista (RCP2.6).

Además, se proyecta un **desplazamiento progresivo del límite altitudinal de la nieve** hacia cotas más elevadas, superior a 300 m por siglo en escenarios de altas emisiones. Esto implicaría una mayor irregularidad en la ocurrencia de nevadas intensas, cada vez más aisladas y asociadas a fenómenos convectivos, así como la reducción de procesos fríos persistentes en baja y media montaña.

Consideraciones físicas y regionales

- El retroceso nival será más acusado en cotas medias (1.500–2.000 m), donde las pérdidas podrían superar el 70 % bajo escenarios de altas emisiones.
- Los descensos serán más intensos en Pirineos y Sierra Nevada, mientras que en los sistemas montañosos del norte peninsular se espera un retroceso más moderado.
- Se anticipa un adelanto del inicio de la fusión nival y un desplazamiento de la acumulación máxima hacia los meses más tempranos del invierno.
- Los glaciares pirenaicos desaparecerán prácticamente bajo el escenario RCP8.5 antes de 2050, manteniéndose únicamente pequeños glaciares relictos en escenarios intermedios.
- El permafrost de alta montaña en el Pirineo central experimentará un retroceso acelerado, con una desaparición casi completa en la segunda mitad del siglo XXI.
- Los episodios de nieve tenderán a ser más irregulares interanualmente, con nevadas intensas, pero más aisladas, vinculadas a condiciones convectivas.
- El impacto en cuencas fluviales será diferenciado, siendo más crítico en las del Ebro y Mediterráneo por su alta dependencia de aportes nivosos.
- En conjunto, la vulnerabilidad de los sistemas de alta montaña se verá reforzada frente al cambio climático.

Sectores potencialmente afectados

- Agua y recursos hídricos (Glaciares, permafrost, nieve).
- Energía hidroeléctrica (Glaciares, nieve).
- Turismo (Glaciares, permafrost, nieve).
- Ecosistemas de alta montaña (Glaciares, permafrost, nieve, altitud procesos fríos).
- Agricultura (Glaciares, permafrost, nieve).

A continuación, en la **Tabla 6**, se presenta a modo de síntesis, las principales proyecciones las variables climáticas relativas a la criosfera identificadas en la evaluación sectorial.

Tabla 6. Resumen de las proyecciones futuras de las variables de la criosfera principales en España.

Elemento	Indicador climático utilizado	Escenario RCP	Horizonte temporal	Estadístico usado	Proyección esperada	Zona más afectada	Nivel incertidumbre	Sectores impactados
Glaciares (Pirineos)	Superficie y espesor glaciar	RCP4.5 / RCP8.5	2050 / 2100	Superficie y espesor	Retroceso acelerado. Bajo RCP8.5: pérdidas >95 % de la superficie actual y desaparición práctica antes de 2050. Bajo RCP4.5: supervivencia de pequeños glaciares relictos >3.000 m hacia finales de siglo, con fuerte reducción de volumen y funcionalidad hidrológica	Pirineos	Media (tendencia robusta, magnitud y plazos dependen del escenario y modelo)	Agua y recursos hídricos, energía hidroeléctrica, ecosistemas de alta montaña, turismo
Permafrost	Extensión y continuidad del permafrost	RCP2.6 /RCP8.5	2050 / 2100	Extensión y persistencia	Retroceso acelerado. Bajo RCP8.5: desaparición casi completa antes de 2050. Bajo RCP2.6: conservación residual y discontinua en enclaves del Pirineo central hacia finales de siglo	Pirineo central	Alta	Ecosistemas de alta montaña, estabilidad del terreno, infraestructuras
Capa de nieve	Duración y acumulación nival	RCP4.5 / RCP8.5	2041-2070 / 2081-2100	Duración y acumulación nival	Reducción sustancial: −25 % a −40 % en RCP4.5 y −50 % a −70 % en RCP8.5 en altitudes medias (1.500–2.000 m) hacia mediados de siglo. Hacia finales de siglo, acortamiento de la temporada de nieve entre 1 y 2 meses respecto a 1971–2000, con pérdidas más acusadas en primavera y otoño	Pirineos, Sierra Nevada (retroceso más intenso); sistemas montañosos del norte peninsular (retroceso más moderado)	Media	Agua y recursos hídricos, energía hidroeléctrica, turismo, agricultura
Altitud procesos fríos	Altitud mínima de nieve y suelo helado persistente	RCP4.5 / RCP8.5	2041-2100	Altitud mínima de nieve y acumulación máxima	Desplazamiento del límite altitudinal de la nieve hacia cotas más elevadas (>300 m/ siglo en RCP8.5). Acumulación máxima adelantada a meses más tempranos; fusión más rápida y concentrada, con picos de escorrentía más intensos en primavera y menor aporte estival	Cuencas del Mediterráneo y Ebro (Dependencia hidrológica de Pirineos y Sierra Nevada)	Media	Agua y recursos hídricos, agricultura, energía hidroeléctrica

8. Resumen con las tendencias observadas y proyectadas

(en las principales variables climáticas directamente relacionadas con la evaluacion sectorial de los efectos del cambio climático)

El análisis conjunto de las observaciones instrumentales y de las proyecciones climáticas disponibles permite sintetizar las principales evidencias sobre la evolución reciente y futura del clima en España. La información recogida integra resultados de las redes de observación nacionales e internacionales, estudios de referencia (AEMET, CLIVAR-España, IPCC, entre otros) y las proyecciones regionalizadas aplicadas al ámbito peninsular e insular.

Las tendencias observadas confirman un proceso claro de calentamiento, acompañado de un aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos y de una mayor variabilidad hidrológica. Estos cambios ya están teniendo repercusiones en sectores clave como la agricultura, los recursos hídricos, la energía o la salud pública.

Las proyecciones para el siglo XXI apuntan a una intensificación de estas tendencias bajo los diferentes escenarios de emisiones, con diferencias regionales y estacionales que, con la desigual la exposición y vulnerabilidad de los territorios, condicionarán la materialización de los riesgos. El conocimiento de estas tendencias resulta esencial para orientar las estrategias de adaptación sectorial y territorial, anticipando riesgos y oportunidades derivados del cambio climático.

El análisis presentado en este capítulo constituye una síntesis de las tendencias observadas y proyectadas de las variables climáticas para las que se dispone de información científico-técnica suficientemente contrastada y verificada, con una clara orientación hacia su aplicación sectorial en la Evaluación Nacional de los Riesgos e Impactos del Cambio Climático en España. Representa, por tanto, el conjunto de evidencia climática de mayor calidad y aceptación por parte de la comunidad científica. En este sentido, cabe señalar que determinados peligros, como la salinización de acuíferos y suelos —con incidencia en el sector marino-costero—, la intrusión salina —con incidencia en el sector agrícola— o

la radiación solar —con incidencia en la producción de energía fotovoltaica—, no han sido objeto de análisis en este capítulo. Asimismo, conviene destacar que, para la mayoría de las variables climáticas, se ha procurado realizar una síntesis con la mayor resolución espacio-temporal posible, de manera que las conclusiones aquí presentadas contribuyan a la evaluación sectorial con la mayor base de evidencia científica disponible, pero con las limitaciones propias de la ciencia disponible.

Principales conclusiones derivadas de las tendencias observadas:

- Incremento sostenido de la temperatura media en España desde 1961, más acusado en verano y en el interior.
- Aumento de extremos térmicos: récords de días cálidos muy por encima de los días fríos, incremento de noches cálidas.
- Reducción del número de días de helada y alargamiento del periodo libre de heladas, sobre todo en zonas de montaña.
- Precipitación anual sin tendencia robusta, pero con señales de reducción en primavera y aumento en octubre.
- Mayor intensidad de precipitaciones extremas (≥200 mm/día), especialmente en la fachada mediterránea.
- Sequías más persistentes e intensas en el sureste y valle del Ebro, confirmadas por índices como el SPEI.
- Disminución de la velocidad media del viento superficial hasta 2010, seguida de una estabilización.
- Elevación del nivel medio del mar, con aumentos constatados en todas las costas españolas.
- Incremento de la temperatura superficial del mar, con olas de calor marinas más frecuentes y duraderas.
- Acidificación del océano y reducción del oxígeno disuelto, afectando a ecosistemas marinos.
- Retroceso de la criosfera: menor duración y espesor de la nieve, pérdida progresiva de glaciares pirenaicos y retroceso del permafrost de alta montaña.

Principales conclusiones derivadas de las proyecciones futuras de cambio climático:

- Aumento generalizado de la temperatura media, con +2 a +3 °C a mediados de siglo y hasta +5–6 °C a finales bajo SSP5-8.5.
- Mayor incremento en temperaturas máximas y mínimas estivales y otoñales, sobre todo en interiores y Mediterráneo.
- Olas de calor más frecuentes, intensas y largas, con adelanto de su inicio y extensión de la temporada cálida.
- Práctica desaparición de días de helada a finales de siglo en escenarios de altas emisiones, sobre todo en cotas bajas y medias.
- Precipitaciones medias en descenso moderado, especialmente en sur y sureste; mayor incertidumbre en el norte.
- Incremento de episodios de precipitación extrema y convectiva, sobre todo en el litoral mediterráneo.
- Sequías más graves y prolongadas, con mayor aridez en el sur y este peninsular.
- Velocidad del viento superficial con alta incertidumbre, tendencia a la estabilidad o ligera disminución, con posibles aumentos locales (valle del Ebro, Estrecho, Andalucía).
- Nivel del mar en ascenso continuo, +20 cm hacia 2050 y +50–60 cm a finales de siglo, mayor en Atlántico y Golfo de Cádiz.
- Mayor temperatura del mar y olas de calor marinas más largas, con +2 a +3 °C a final de siglo.
- Acidificación sostenida y menor oxígeno disuelto, con efectos sobre especies y hábitats marinos.
- Reducción del 50–70 % de la cobertura nival en cotas medias (1.500–2.000 m) bajo RCP8.5 a mediados de siglo; desaparición de glaciares pirenaicos antes de 2050 bajo altas emisiones.
- Desaparición casi total del permafrost de alta montaña, salvo persistencia residual en escenarios optimistas.

9. Bibliografía

- AEMET. (2017). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5.* Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- AEMET. (2024). *Informe sobre el estado del clima de España 2024.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Calvo-Sancho, C., Montoro-Mendoza, A., Gonzalez-Aleman, J., Diaz-Fernandez, J., Bolgiani, P., Farran, J., . . . Martin, M. (2024). Granizo gigante en España, ¿Fue el cambio climático? *Repositorio AEMET*.
- CLIVAR-España. (2024). *Informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Grupo de Meteorología de Santander. (2018). *Proyecciones regionales de Cambio Climático para vientos extremos en España para el s.XXI: Caracterización de valores de retorno y frecuencia de configuraciones atmosféricas de peligro.*
- Lopez-Marti, F., Ginesta, M., Faranda, D., Rutgersson, A., Yiou, P., Wu, L., & Messori, G. (2025). Future changes in compound explosive cyclones and atmospheric rivers in the North Atlantic. 169-287.
- Martín, M., Calvo-Sancho, C., Taszarek, M., González-Alemán, J., Montoro-Mendoza, A., Diaz-Fernandez, J., . . . Martin, Y. (2024). Major Role of Marine Heatwave and Anthropogenic Climate Change on a Giant Hail Event in Spain. *Geophysical Research Letters*, e2023GL107632.
- Proyecto ECCE. (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático.* Ministerio de Medio Ambiente.
- Sanz, M., & Galán, E. (2021). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico .

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Variables climáticas

Anexo I. El uso de las variables climáticas en el ciclo de la evaluación de riesgos

Anexo II. Fuentes de información climática

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Contenido

Anexo I. El uso de las variables climáticas en el ciclo de la evaluación de riesgos / pág. 198

1. Fuentes y clasificación de las variables climáticas / pág. 198

1.1. Clasificación por origen del dato / pág. 198

1.2. Clasificación por horizonte temporal / pág. 201

1.3. Clasificación por tipo de variable / pág. 201

1.4. Clasificación según naturaleza estadística: promedios vs. extremos / pág. 202

1.5. Interrelaciones / pág. 204

2. Escalas temporales y espaciales para la selección de la información climática / pág. 205

2.1. Introducción / pág. 205

2.2. Selección de horizontes y escalas temporales / pág. 207

2.3. Regionalización de las variables climáticas / pág. 210

3. Escenarios climáticos, trayectorias socioeconómicas y niveles de calentamiento / pág. 215

Anexo II. Fuentes de información climática / pág. 221

Anexo I.
El uso de las variables climáticas en el ciclo de la evaluación de riesgos

1. Fuentes y clasificación de las variables climáticas

El primer paso para utilizar adecuadamente la información climática en los procesos de análisis de riesgo y adaptación es comprender la naturaleza de los datos disponibles, su origen, las escalas en las que se producen, su aplicabilidad y sus limitaciones. En esta sección se presenta una clasificación técnica de las variables climáticas, que servirá de marco de referencia para el resto del capítulo. Esta clasificación se basa en cuatro dimensiones clave: el origen del dato, el horizonte temporal, el tipo de variable y su naturaleza estadística (media o extremo).

1.1. Clasificación por origen del dato

Las variables climáticas utilizadas en análisis de adaptación pueden proceder de diferentes fuentes, que determinan su calidad, resolución y aplicabilidad:

- *Datos observados* (mediciones instrumentales): provienen de estaciones meteorológicas, satélites o sensores remotos. Son fundamentales para caracterizar el clima pasado y establecer líneas base. Ejemplo: series históricas de temperatura media diaria de AEMET.

- *Datos de reanálisis:* combinan observaciones con modelos numéricos para proporcionar una estimación coherente y espacialmente completa del estado de la atmósfera. Son útiles para zonas sin cobertura instrumental densa. Ejemplo: ERA5 del Centro Europeo de Predicción (ECMWF).

- *Modelos climáticos:* se utilizan para simular el comportamiento futuro del clima bajo distintos escenarios de emisiones. Pueden ser globales (GCM[1]s) o regionales (RCMs[2]) y constituyen la base de las proyecciones climáticas. Ejemplo: simulaciones del proyecto EURO-CORDEX para Europa.

- *Hindcasts o predicciones retrospectivas:* simulaciones realizadas con modelos climáticos para periodos pasados con el fin de evaluar su capacidad predictiva. Son útiles, por ejemplo, para estimar la fiabilidad de predicciones estacionales o decadales.

Cada una de estas fuentes tiene ventajas y limitaciones que deben considerarse al seleccionar variables para análisis de riesgo o formular e implementar planes de adaptación. Por ejemplo,

- Los datos observados tienen alta fiabilidad y resolución temporal, pero su cobertura espacial puede ser limitada, especialmente en zonas rurales, de alta montaña o en países con baja densidad de estaciones. Además, pueden presentar discontinuidades por cambios en los instrumentos o en las series.

- Los reanálisis ofrecen una cobertura espacial continua y homogénea, así como series temporales largas y coherentes, pero no deben interpretarse como observaciones puras, ya que incorporan estimaciones modeladas en zonas sin datos.

- Las proyecciones de modelos climáticos permiten explorar futuros posibles y planificar a largo plazo, pero presentan incertidumbres asociadas a los modelos, los escenarios de emisión y la variabilidad interna del sistema. Su resolución espacial es generalmente baja en los modelos globales, aunque puede mejorarse mediante técnicas de regionalización.

- Los hindcasts son útiles para evaluar la calidad de las predicciones climáticas, pero dependen en gran medida del diseño del experimento y del modelo utilizado, y su aplicabilidad operativa es aún limitada en muchos sectores.

[1] Global Climate Model o General Circulation Model.

[2] Regional Climate Model.

En la Tabla 1 se recoge un resumen de pros y contras basado en cobertura espacial, resolución temporal de la información, su horizonte temporal, su utilidad para caracterizar extremos y promedios y las limitaciones principales.

En general, una combinación estratégica de fuentes —por ejemplo, observaciones para validar reanálisis o calibrar modelos, y modelos regionalizados para explorar futuros plausibles— permite obtener un marco más robusto y aplicable a los distintos niveles de decisión.

1.2. Clasificación por horizonte temporal

Según el periodo temporal que cubren y el propósito del análisis, las variables pueden clasificarse en:

- *Nowcast:* información casi en tiempo real (minutos a horas), usada sobre todo en meteorología operativa o gestión de emergencias.
- *Meteorología de corto plazo:* predicciones de 1 a 7 días. Útiles para acciones inmediatas, pero no relevantes para planificación adaptativa.
- *Predicción estacional:* anticipa condiciones probables en los próximos 3–6 meses. Se usa, por ejemplo, en agricultura o planificación hídrica.
- *Predicción decadal:* anticipa variabilidad climática interna (más allá del tiempo meteorológico, pero antes de las señales claras del cambio climático). Relevante para infraestructuras sensibles a la variabilidad.
- *Proyecciones de largo plazo:* suelen cubrir horizontes de 2030, 2050 o 2100. Son esenciales para la planificación estratégica de adaptación.
- *Información retrospectiva:* observaciones y reconstrucciones del pasado que permiten caracterizar tendencias y establecer líneas base.

Es necesario destacar que estos horizontes temporales son los propios de la ciencia del clima, pero no tienen que coincidir necesariamente con lo que en análisis de riesgo o adaptación se considera corto, medio y largo plazo. Esta cuestión se abordará más adelante en el capítulo.

1.3. Clasificación por tipo de variable

Las variables climáticas no siempre se utilizan en su forma original o directa. Entendemos por variables directas (o básicas) aquellas que son medidas u obtenidas directamente del sistema climático, ya sea a través de observaciones (como estaciones meteorológicas o satélites) o de modelos (como salidas de temperatura o precipitación). Entre las más comunes se encuentran la temperatura del aire, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad relativa o la velocidad del viento.

A partir de estas, se pueden generar variables derivadas, que se calculan mediante transformaciones físicas o estadísticas. Por ejemplo, la evapotranspiración potencial, la humedad del suelo estimada o el índice de calor se obtienen combinando varias variables básicas con fórmulas empíricas o modelos simplificados.

En una capa adicional de complejidad, se construyen indicadores compuestos, que combinan múltiples variables (básicas y derivadas) para sintetizar fenómenos complejos o facilitar su interpretación. Un ejemplo es el índice estandarizado de precipitación (SPI), que permite evaluar situaciones de sequía en distintas escalas temporales.

Finalmente, existen las llamadas variables sectoriales, que traducen la información climática a parámetros relevantes para sectores específicos. Por ejemplo, los grados-día en agricultura permiten estimar el desarrollo de los cultivos, mientras que la energía eólica disponible es clave en el sector energético para evaluar la viabilidad de instalaciones.

Esta clasificación permite interpretar las variables climáticas no solo desde su origen físico, sino también en función de su relevancia para el análisis de impactos, riesgos o decisiones sectoriales.

1.4. Clasificación según naturaleza estadística: promedios vs. extremos

Las variables climáticas pueden describir comportamientos medios o eventos extremos:

- Variables de estado o *promedio*: reflejan condiciones centrales del clima en un periodo determinado. Ejemplo: temperatura media mensual, precipitación acumulada anual.

- Variables de *extremos*: reflejan valores anómalos o extremos de la distribución. Se definen comúnmente mediante percentiles (por ejemplo, temperatura > P90[3]) o umbrales físicos. Ejemplos: máximos de precipitación diaria, rachas máximas de viento, olas de calor o frío, sequías prolongadas.

La adaptación al cambio climático requiere integrar ambas naturalezas: los cambios en las medias pueden afectar progresivamente a sistemas ecológicos o económicos, mientras que los eventos extremos son responsables de los impactos más severos, especialmente cuando superan umbrales críticos de tolerancia.

[3] Percentil 90 de temperatura: es el valor de la temperatura por debajo de la cual se encuentran el 90 % de las observaciones de temperatura de esa serie temporal.

Tabla 1. Fuentes y clasificación de las variables climáticas. Clasificación por origen del dato.

Fuente	Cobertura espacial	Resolución temporal	Horizonte temporal	Utilidad para extremos	Calidad para promedios y climatologías	Limitaciones principales
Datos observados	Local (puntual), dispersa, variable por región	Alta (horaria, diaria)	Retrospectiva (histórica)	Muy alta: capturan eventos reales con alta resolución	Muy alta: datos empíricos ideales para establecer climatologías locales	Cobertura desigual, posibles discontinuidades por cambios en estaciones de observación o instrumentos
Reanálisis	Global o regional, continua y homogénea	Alta (horaria, diaria)	Retrospectiva (décadas recientes)	Buena: interpolan zonas sin datos, pero tienden a suavizar extremos	Alta: útiles para caracterizar patrones espaciales y temporales	Menor precisión que observaciones, especialmente donde faltan datos primarios
Modelos climáticos (GCM/RCM)	Global o regional, regular según resolución espacial	Media a baja (diaria, mensual)	Futuro (proyecciones a 2030–2100)	Media-alta: permiten estimar cambios en frecuencia o intensidad	Alta: especialmente útiles para identificar tendencias futuras	Alta incertidumbre; resolución limitada (especialmente en GCM); requieren corrección de sesgos sistemáticos
Hindcasts	Similar a modelos climáticos (según configuración)	Variable	Retrospectiva (evaluación de modelos)	Buena: si están calibrados y validados, permiten estimar extremos estacionales o decadales a partir de series largas, especialmente en contextos de variabilidad natural	Buena: permiten caracterizar patrones climáticos estacionales o decadales y evaluar la habilidad predictiva del sistema	Requieren calibración y validación rigurosa; la calidad depende del modelo, del número de años y del tipo de variable considerada

1.5. Interrelaciones

Las diferentes dimensiones recogidas en la clasificación anterior no son excluyentes, sino complementarias. Por ejemplo, una misma variable como la temperatura puede:

- Ser una variable básica si se toma como dato directo.
- Ser derivada si se usa para calcular días de crecimiento agrícola.
- Ser observada o proyectada.
- Aplicarse a escalas diarias (meteorología) o medias decenales (cambio climático).
- Analizarse como media mensual o como evento extremo (ola de calor).

Por ello, es esencial que cualquier selección de variables climáticas para análisis de riesgo o planificación adaptativa esté acompañada de una descripción clara de: su origen (observación, modelo, reanálisis...); su horizonte temporal y escala espacial; el tipo de valor que representa (promedio, umbral, percentil...) y su propósito (qué impacto o proceso busca representar o anticipar).

Contar con una clasificación estructurada permite como la propuesta permite elegir las variables más adecuadas para cada fase del ciclo de la adaptación. Además, sirve para entender mejor los límites de aplicabilidad de cada fuente de información y comunicar de forma transparente la base científica sobre la que se apoya el análisis de riesgo o la definición de medidas de adaptación que se pretende implementar.

2. Escalas temporales y espaciales para la selección de la información climática

2.1. Introducción

El valor de la información climática en los procesos de adaptación no reside únicamente en la precisión física de las variables o en la calidad de sus fuentes, sino en su adecuación a las decisiones que deben fundamentar. Esta adecuación depende, de manera crítica, de tres dimensiones interrelacionadas: el sistema que se desea adaptar, el horizonte temporal de planificación, y la resolución espacial a la que se requiere la información climática.

Cada sistema, sea una infraestructura, un ecosistema, una cadena de suministro o una política pública, responde a impactos climáticos de manera distinta y opera bajo escalas temporales y espaciales propias. Una carretera en una zona de montaña, una planta potabilizadora o una zona agrícola de regadío requieren información climática distinta no solo en tipo de variable, sino también en resolución y horizonte.

El horizonte temporal de planificación, corto, medio o largo plazo, condiciona la elección de las fuentes de datos climáticos. Por ello, las decisiones de adaptación deben apoyarse en información climática coherente con el marco temporal de planificación. Medidas operativas, como la gestión de recursos hídricos, requieren información subestacional o intraanual, la gestión de un cultivo de ciclo anual podrá beneficiarse de predicciones estacionales o incluso subestacionales. mientras que decisiones estructurales o estratégicas, como la localización de nuevas infraestructuras o planes de ordenamiento territorial, con vidas útiles de más de 50 años deben considerar escenarios climáticos y trayectorias de calentamiento a varias décadas vista y, por tanto, variables climáticas proyectadas.

En cuanto a la resolución espacial de la información climática, la compatibilidad entre las escalas de las variables climáticas y las escalas de los elementos expuestos —como sistemas urbanos, agrícolas o ecosistemas naturales específicos— resulta esencial para una evaluación eficaz del riesgo.

Aunque los planes regionales o nacionales pueden elaborarse con datos climáticos de menor resolución espacial debido a restricciones de tiempo, recursos o disponibilidad, la implementación de proyectos o medidas de adaptación a nivel local requiere información más precisa y detallada para poder ser efectivamente contextualizada y aplicada.

Esta elección de escala tiene un efecto directo sobre la calidad y precisión de los análisis de riesgo. Utilizar una resolución espacial o temporal inadecuada puede introducir incertidumbres significativas en la caracterización de la peligrosidad climática, en la identificación de sectores expuestos o vulnerables, y en la estimación de los impactos y riesgos asociados.

Por ejemplo, una resolución espacial excesivamente grosera puede ser incapaz de representar adecuadamente procesos atmosféricos de escala local, como la formación de depresiones aisladas en niveles altos (DANAs) o galernas, suavizando la intensidad de estos fenómenos y conduciendo, en consecuencia, a una subestimación de sus efectos reales sobre el territorio y los sistemas afectados. Por lo tanto, la disponibilidad y calidad de las bases de datos climáticas, su resolución y su adecuación a las necesidades del análisis representan un componente crítico del proceso. En este sentido, resulta necesario la a regionalización o “downscaling” de las proyecciones globales y la integración de datos observados y de reanálisis para transferir a la escala local los posibles efectos del cambio climático.

No obstante, en muchos casos, aunque el tipo de análisis requeriría información climática de alta resolución, ésta puede no estar disponible, requerir demasiado tiempo para su generación, o suponer costes que limitan su uso, especialmente en contextos con baja capacidad técnica o financiera. Por ello, es importante evaluar la viabilidad técnica y económica del uso de información climática, considerando los recursos disponibles, las herramientas accesibles y los plazos del proceso de planificación.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que la incertidumbre asociada a la información climática tiende a aumentar con la distancia temporal (horizontes más lejanos implican mayor incertidumbre), y también cuando se utilizan datos de baja resolución espacial en contextos que requieren mayor nivel de detalle. En cambio, una mayor resolución espacial, cuando es técnicamente robusta, tiende a reducir la incertidumbre, al permitir representar con mayor fidelidad las condiciones locales y los fenómenos extremos relevantes para la toma de decisiones. Esta realidad exige un uso cuidadoso y transparente de los datos climáticos, así como una adecuada comunicación de sus limitaciones y márgenes de error.

Comprender la relación entre escalas climáticas y escalas de decisión es, por tanto, un requisito imprescindible para desarrollar análisis de riesgo climático rigurosos y diseñar estrategias de adaptación que sean realistas, eficaces y sostenibles.

2.2. Selección de horizontes y escalas temporales

La selección de los horizontes temporales y de las escalas de análisis es una decisión crítica en cualquier evaluación de riesgos climáticos y en el diseño de estrategias y medidas de adaptación. Esta elección determina no solo el tipo de información climática que debe utilizarse, sino también la manera en que se interpretan los impactos y se definen las acciones necesarias en los distintos niveles de planificación. Los horizontes temporales deben estar alineados con el ciclo de vida de los sistemas o activos expuestos, la naturaleza del impacto que se analiza y el tipo de medida de adaptación que se pretende implementar.

En general, en el marco de las proyecciones climáticas se distinguen tres horizontes de análisis ampliamente aceptados (**Figura 1**):

- *Corto plazo,* correspondiente a un horizonte inferior a 10 años. Este marco resulta adecuado para medidas operativas o de gestión que requieren una respuesta inmediata o a escala anual/estacional. Las decisiones que se adoptan en este horizonte suelen estar orientadas a la mejora de la gestión adaptativa, la planificación sectorial o la implementación de sistemas de alerta temprana. Aquí, la variabilidad interanual e intraestacional del clima es especialmente relevante, y la información más útil suele proceder de observaciones recientes, predicciones climáticas estacionales y escenarios de baja incertidumbre.

- *Medio plazo,* correspondiente a un horizonte de mitad de siglo (p. ej. 2040–2060). Este intervalo resulta especialmente adecuado para la planificación de infraestructuras con una vida útil prolongada, decisiones de inversión a escala territorial y el diseño de políticas públicas de adaptación estructural. En este horizonte temporal, adquieren relevancia las proyecciones climáticas regionales o locales, formuladas a partir de distintos escenarios de emisiones o niveles de calentamiento global. La necesidad de incorporar la incertidumbre climática en los análisis se intensifica, por lo que se recomienda trabajar con múltiples modelos climáticos y contrastar los resultados bajo diferentes escenarios climáticos.

- *Largo plazo,* correspondiente a un horizonte de final de siglo (p. ej. 2081–2100). Este horizonte es fundamental para alinear las estrategias de adaptación con los compromisos climáticos de mitigación y los objetivos de desarrollo sostenible. Las decisiones adoptadas con esta perspectiva suelen tener implicaciones estructurales sobre el modelo territorial, la ordenación del espacio y el diseño de infraestructuras resilientes al cambio climático extremo. Aunque la incertidumbre de las proyecciones climáticas aumenta, su utilidad estratégica es incuestionable, especialmente en contextos que demandan robustez frente a futuros inciertos.

En el contexto del análisis de riesgos climáticos, los horizontes temporales deben considerarse siempre en conjunto con la escala de las decisiones que se deben adoptar. Las intervenciones a nivel local requieren una desagregación temporal más precisa y detallada, mientras que las estrategias nacionales o macroregionales pueden operar con horizontes y agregaciones más amplias. Asimismo, la selección del horizonte debe estar alineada con el tipo de variable climática relevante considerada, ya que no todos los fenómenos muestran igual sensibilidad a distintas escalas temporales. Por ejemplo, los procesos de elevación del nivel del mar requieren horizontes largos, mientras que variables climáticas sectoriales como la sequía agrícola puede necesitar escalas estacionales o interanuales. Así mismo, es necesario vincular la selección de horizontes con el ciclo de planificación de las propias políticas de adaptación, de forma que se facilite su revisión periódica y su capacidad de ajuste.

En este aspecto, es necesario destacar que, por ejemplo, la Taxonomía Europea y la Directiva sobre Reporte de Sostenibilidad Corporativa (CSRD) recomiendan horizontes temporales para la evaluación de riesgos de la empresa que no van generalmente más allá de mitad de siglo, con una recomendación explícita de analizar los horizontes temporales de planificación operativa y financiera, es decir, normalmente inferior a 5 años.

Otro aspecto de especial relevancia, tanto con la del propio horizonte temporal, es la elección del periodo de referencia frente al cual se comparan los futuros proyectados. Este periodo actúa como línea base para estimar la magnitud del cambio climático, y por tanto condiciona directamente cómo se cuantifican los riesgos. Normalmente, el periodo de referencia se selecciona de acuerdo con la disponibilidad de datos observados de calidad, la estabilidad climática relativa y la coherencia con estándares internacionales. Un periodo comúnmente utilizado es 1985–2014, aunque también es habitual emplear 1971–2000 o 1995–2014, dependiendo del tipo de variable, la región y la coherencia con las bases de datos climáticas empleadas.

El modo en que se representa el cambio con respecto a ese periodo base puede adoptar dos enfoques:

- *Cambio absoluto,* que expresa la diferencia directa entre el valor futuro proyectado y el valor promedio del periodo de referencia (por ejemplo, +2 °C de aumento de temperatura media).

- *Cambio relativo,* que calcula el incremento como proporción del valor de referencia (por ejemplo, un 15 % más de días con olas de calor o un 30 % menos de escorrentía).

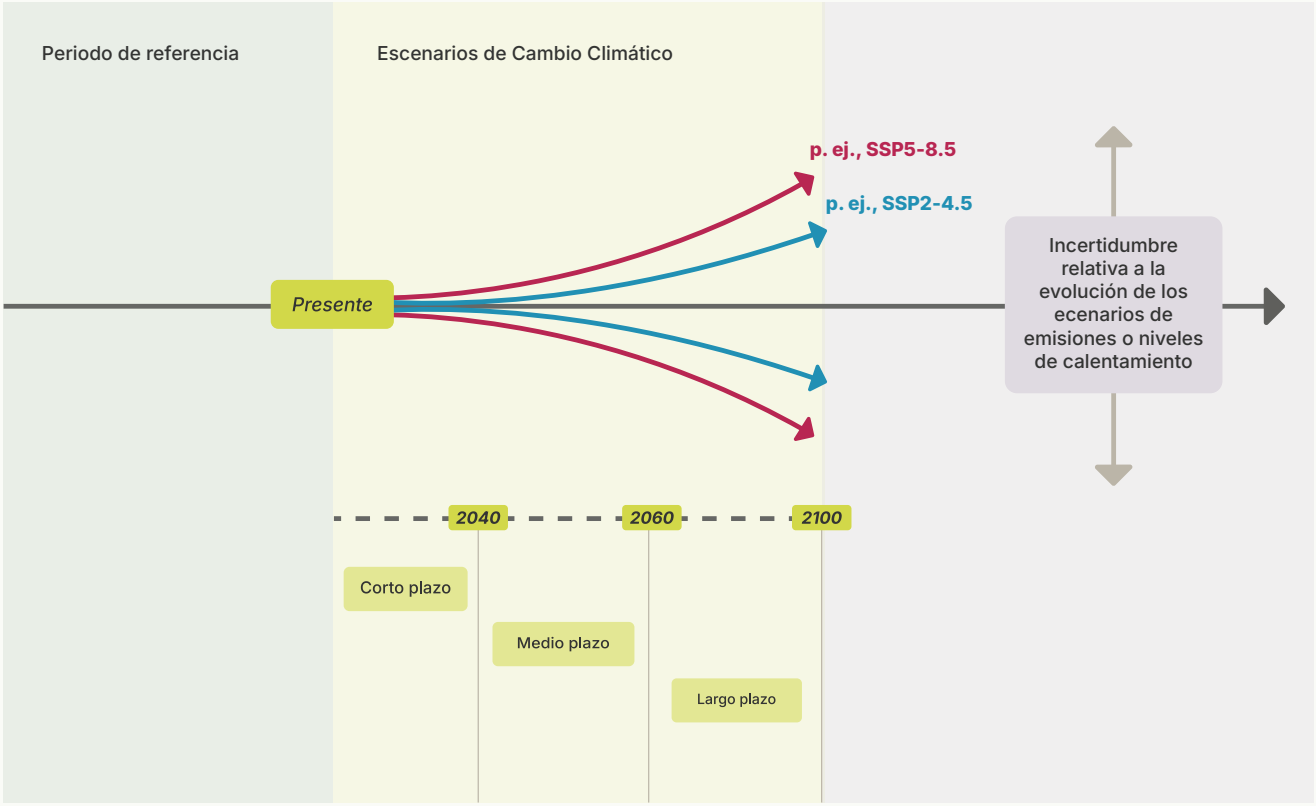


Figura 1. Esquema conceptual para la definición de las escalas de temporales.

La elección entre representar los riesgos climáticos en términos absolutos o relativos depende del tipo de variable, el sector analizado y el tipo de impacto que se desea modelar. Los cambios absolutos son más intuitivos para variables como la temperatura, mientras que los relativos son más útiles en contextos donde importa la proporción de cambio respecto a condiciones base, como en la disponibilidad de agua o el rendimiento agrícola.

Es importante destacar que un mismo escenario climático puede conducir a diferentes interpretaciones del riesgo según el periodo de referencia y la forma en que se exprese el cambio. Por ello, debe explicitarse con claridad el periodo y el método de comparación adoptado, especialmente cuando los resultados se comunican a actores sectoriales o tomadores de decisión.

Cuadro 1. Selección de horizontes temporales y líneas base en la evaluación del riesgo climático

La elección del horizonte temporal condiciona el tipo de información climática, la interpretación de los impactos y el diseño de medidas de adaptación. Se distinguen tres marcos principales: corto plazo (menos de 10 años), útil para gestión adaptativa y alertas tempranas; medio plazo (2040–2060), adecuado para planificación de infraestructuras y políticas públicas; y largo plazo (2081–2100), necesario para estrategias estructurales y alineación con compromisos climáticos.

Esta elección debe adaptarse al contexto sectorial y territorial: decisiones locales requieren mayor precisión temporal y espacial que estrategias nacionales, especialmente cuando se busca capturar la variabilidad climática específica de un entorno concreto.

También es clave definir el periodo de referencia frente al cual se mide el cambio, habitualmente 1985–2014, 1971–2000 o 1995–2014. Este periodo actúa como línea base para estimar la magnitud del cambio climático y debe seleccionarse considerando la disponibilidad de datos y su coherencia con las fuentes utilizadas. El cambio respecto a este periodo puede expresarse como una diferencia directa en valores, como ocurre con el aumento medio de temperatura, o como una variación proporcional sobre el valor inicial, lo cual resulta útil en variables como la escorrentía o la frecuencia de olas de calor.

2.3. Regionalización de las variables climáticas

La regionalización climática, o downscaling, es un proceso metodológico fundamental para convertir las proyecciones generadas por modelos climáticos globales (GCMs) —que operan con resoluciones espaciales relativamente groseras (del orden de 100 a 250 km)— en información climática útil para la toma de decisiones. La mayoría de los impactos del cambio climático, y por lo tanto la implementación de medidas de adaptación, se manifiestan en escalas mucho más pequeñas que aquellas representadas por los GCMs. Por ello, es necesario recurrir a técnicas que permitan reducir la escala de los datos climáticos globales y adaptarlos a las características físicas y climáticas de regiones concretas.

Esta necesidad es particularmente evidente en territorios con elevada complejidad climática, como la península ibérica, donde confluyen factores como la orografía, la influencia marina, la continentalidad y los patrones atmosféricos regionales. La interacción entre estos elementos genera una variabilidad espacial significativa que no puede ser adecuadamente representada por modelos de baja resolución. En consecuencia, resulta imprescindible disponer de herramientas que permitan trasladar estas proyecciones climáticas globales a contextos regionales y locales, modelando la coherencia física del sistema y aumentando la relevancia operativa de la información.

Así pues, la regionalización tiene como principal propósito mejorar la aplicabilidad de las proyecciones climáticas, dotándolas de la resolución espacial y el detalle necesario para evaluar riesgos y diseñar estrategias y medidas de adaptación adaptadas a cada sector. Por eso, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático incluye la generación de proyecciones regionalizadas para España (iniciativa Escenarios-PNACC), utilizando los modelos climáticos empleados en los sucesivos informes de evaluación del IPCC. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) es la institución responsable de la coordinación y el desarrollo de este componente del Plan Nacional de Adaptación, en estrecha coordinación con los grupos de investigación españoles más activos en este campo y con la Oficina Española de Cambio Climático (OECC). Asimismo, los escenarios climáticos regionalizados (Escenarios-PNACC) se ponen a disposición a través de herramientas adecuadas y versátiles, como el Visor de Escenarios de Cambio Climático de AdapteCCa[4].

Las técnicas de regionalización pueden agruparse en cuatro grandes enfoques: dinámico, estadístico, híbrido y, más recientemente, basado en inteligencia artificial. Cada uno presenta ventajas, limitaciones y requisitos específicos que deben considerarse en función de la variable climática a modelar, la escala geográfica, el volumen de datos disponible y el objetivo del análisis.

a. Técnicas de regionalización dinámica

La regionalización dinámica utiliza modelos climáticos regionales (RCMs) que resuelven explícitamente las ecuaciones físicas del clima en un dominio geográfico acotado. Estos RCMs se ejecutan con condiciones de contorno proporcionadas por un GCM, permitiendo simular procesos atmosféricos, oceánicos y de superficie a resoluciones que oscilan entre 10 y 50 km (aunque algunos experimentos alcanzan ya los 3 km en configuraciones de alta resolución).

Esta técnica es la que mejor conserva la coherencia física entre variables, permitiendo una representación detallada de fenómenos como los gradientes de precipitación en áreas montañosas, las brisas marinas o la interacción entre sistemas frontales y accidentes geográficos. Por ello, ha sido adoptada como enfoque de referencia en programas internacionales como EURO-CORDEX y MED-CORDEX, que generan conjuntos de simulaciones regionalizadas para Europa y la región mediterránea a partir de múltiples GCMs y RCMs. En España, esta técnica se ha aplicado para obtener las proyecciones regionales de variables marinas (oleaje, marea meteorológica, temperatura superficial del agua del mar, nivel medio del mar) utilizando modelos como ROMS o WW3, alimentados por RCMs atmosféricos regionales.

[4] https://escenarios.adaptecca.es

Su principal limitación radica en los elevados costes computacionales y la necesidad de contar con datos de entrada de calidad, tanto para condiciones iniciales como para validación. No obstante, su valor para estudios donde se requiere máxima fidelidad física y espacial compensa, en muchos casos, estas limitaciones.

b. Técnicas de regionalización estadística

Las técnicas estadísticas (empirical-statistical downscaling, ESD) buscan establecer relaciones empíricas entre variables climáticas a gran escala (predictor) y variables locales o regionales (predictando). Se basan en el supuesto de que existen patrones recurrentes entre la circulación atmosférica de gran escala y las condiciones climáticas regionales, que pueden ser explotados para proyectar el clima futuro.

Los métodos estadísticos de regionalización incluyen diferentes enfoques. Algunos se centran en relaciones funcionales, como las regresiones lineales o no lineales, que permiten vincular variables como la presión a nivel del mar o los geopotenciales con temperaturas o precipitaciones locales. Otros adoptan un enfoque basado en similitud, como los métodos de análogos, que identifican situaciones atmosféricas históricas comparables a las condiciones proyectadas para inferir posibles respuestas locales. También se emplean emuladores climáticos, diseñados para generar series sintéticas que preservan determinadas propiedades estadísticas de las observaciones, y técnicas de ajuste como el quantile mapping, ampliamente utilizadas para corregir sesgos sistemáticos entre las distribuciones modeladas y las observadas, especialmente en el caso de variables con alta variabilidad como la precipitación.

La regionalización estadística tiene como principales ventajas su bajo coste computacional, su capacidad de alcanzar escalas espaciales reducidas (hasta la escala local de las estaciones meteorológicas), y su flexibilidad para trabajar con múltiples escenarios y modelos climáticos. Por ello, resulta especialmente adecuada para estudios comparativos, exploración de incertidumbres o elaboración de productos climáticos ajustados a sectores específicos. No obstante, su precisión y validez dependen de la calidad, extensión y representatividad de las series observadas, así como de la estabilidad temporal de las relaciones utilizadas para inferir el cambio. En escenarios futuros muy alejados de las condiciones actuales, la fiabilidad de estas relaciones puede verse comprometida.

c. Métodos híbridos

Los métodos híbridos combinan las ventajas de los enfoques dinámico y estadístico para mejorar la calidad de las proyecciones regionales. Este enfoque mixto permite, por ejemplo, utilizar RCMs para generar campos físicos coherentes, que luego son corregidos o refinados mediante técnicas estadísticas para adaptarse mejor a las observaciones locales o mejorar la estimación de los extremos.

Otras estrategias híbridas aplican interpolaciones estadísticas sobre las salidas dinámicas, o integran procesos de corrección del sesgo a partir de datos históricos. Esto permite optimizar la resolución efectiva de los productos regionales, conservar la coherencia física general del sistema climático, y al mismo tiempo aumentar la precisión en zonas complejas o mal representadas por los modelos.

d. Técnicas basadas en inteligencia artificial

El uso de inteligencia artificial (IA) en la regionalización climática representa una innovación metodológica que ha cobrado relevancia en la última década, consolidándose como una herramienta emergente en el desarrollo de información climática de alta resolución. Mediante el empleo de algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, como las redes neuronales artificiales, las máquinas de soporte vectorial o las redes convolucionales, es posible identificar patrones complejos entre variables predictoras a gran escala y las variables de interés a nivel regional, superando muchas de las limitaciones de los enfoques lineales tradicionales.

Estos modelos destacan por su capacidad para generalizar comportamientos a partir de grandes volúmenes de datos, lo que les permite captar relaciones no lineales y detectar interacciones entre múltiples variables climáticas no modeladas mediante los métodos clásicos. En este contexto, resulta especialmente útil para la mejora de la estimación de eventos extremos y para la corrección de los sesgos sistemáticos de modelos climáticos.

Su utilidad radica en la notable adaptabilidad a diferentes escalas y condiciones climáticas, la capacidad de mejora continua a medida que se incorporan nuevos datos, y la eficiencia computacional que pueden ofrecer una vez que los modelos están entrenados. No obstante, su implementación también implica desafíos metodológicos relevantes, entre los que se encuentran la necesidad de disponer de bases de datos amplias y de alta calidad para el entrenamiento, la dificultad para interpretar los procesos físicos de los modelos y la obligatoriedad de aplicar procesos rigurosos de validación cruzada para garantizar su fiabilidad y consistencia frente a los enfoques tradicionales.

Cuadro 2. Regionalización climática

La regionalización climática, o downscaling, es el proceso mediante el cual se adaptan las proyecciones de modelos globales a escalas regionales y locales, con el fin de hacerlas operativas y relevantes para la toma de decisiones. Esto resulta especialmente importante en regiones de alta complejidad climática, como la península ibérica, donde factores geográficos y atmosféricos generan una notable variabilidad espacial que los modelos globales no capturan con precisión.

El propósito principal de la regionalización es mejorar la resolución espacio-temporal y el realismo físico de las proyecciones climáticas, permitiendo simular fenómenos no resueltos por los GCMs y alimentar modelos sectoriales con información más ajustada a las condiciones locales. La elección de la técnica debe considerar el objetivo del análisis, la variable climática de interés, la escala deseada y la disponibilidad de datos. Una regionalización bien implementada garantiza mayor pertinencia de la información climática y fortalece la base técnica para diseñar medidas de adaptación eficaces y ajustadas al contexto local.

Existen distintos enfoques metodológicos. La regionalización dinámica, basada en modelos climáticos regionales, ofrece una representación físicamente coherente del sistema climático en dominios acotados, aunque con un alto coste computacional. La regionalización estadística establece relaciones empíricas entre condiciones a gran escala y variables locales, con alta flexibilidad y eficiencia computacional, pero dependiente de datos observados de calidad. Los métodos híbridos combinan ambas aproximaciones para maximizar sus fortalezas, mientras que las técnicas basadas en inteligencia artificial emplean algoritmos de aprendizaje automático para detectar patrones complejos, mejorar la estimación de extremos y corregir sesgos.

3. Escenarios climáticos, trayectorias socioeconómicas y niveles de calentamiento

El análisis del riesgo climático y la planificación de medidas de adaptación requieren una representación estructurada de los posibles futuros del sistema climático. Esta representación se construye a partir de herramientas que permiten caracterizar la evolución esperada del clima, considerando tanto los factores propiamente físicos que lo condicionan como los procesos sociales y económicos que influyen en su transformación. Entre estas herramientas se encuentran los escenarios climáticos, las trayectorias socioeconómicas y los niveles de calentamiento (**Tabla 2**), que en conjunto configuran el marco metodológico sobre el que se desarrollan las proyecciones climáticas y los análisis de riesgos sectoriales.

Los escenarios climáticos se definen a través de condiciones futuras del sistema climático bajo diferentes supuestos de emisiones de gases de efecto invernadero. A través de su implementación en modelos climáticos globales y regionales, estos escenarios permiten simular la evolución de variables climáticas relevantes como la temperatura, la precipitación o el aumento del nivel medio del mar, proporcionando así una base cuantitativa para evaluar riesgos y diseñar estrategias de adaptación. Su construcción se apoya en trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero conocidas como RCP (Representative Concentration Pathways), que representan distintos niveles de forzamiento radiativo a final de siglo. Estos niveles, expresados en vatios por metro cuadrado, permiten discriminar entre escenarios que contemplan una mitigación ambiciosa, trayectorias intermedias o un incremento continuo de emisiones sin medidas correctivas.

No obstante, los RCP, al centrarse exclusivamente en la componente física del sistema climático, no explican las dinámicas socioeconómicas que conducen a esos niveles de emisiones. Por ello, en el Sexto Informe del IPCC se incorporaron las trayectorias socioeconómicas compartidas, o SSP (Shared Socioeconomic Pathways), que describen posibles condiciones socio-climáticas futuras caracterizadas por diferentes niveles de crecimiento económico, desarrollo tecnológico o gobernanza. La combinación de los RCP con los SSP da lugar a escenarios integrados que permiten analizar no solo el comportamiento del clima, sino también la evolución de la exposición y la vulnerabilidad, elementos clave en el análisis del riesgo. Así, se pueden comparar futuros climáticos físicamente similares, pero con implicaciones muy distintas para los sistemas humanos y naturales, dependiendo del contexto socioeconómico en que se produzcan.

En paralelo al uso de escenarios, se ha desarrollado un enfoque basado en niveles de calentamiento, que parte de los incrementos en la temperatura media global respecto al periodo preindustrial. Esta forma de caracterizar el cambio climático —centrada en umbrales como +1,5 °C, +2 °C o +3 °C— permite evaluar directamente los impactos asociados a diferentes grados de calentamiento, independientemente de las trayectorias de emisiones específicas que los originan. Esta aproximación se alinea con los compromisos internacionales establecidos en el Acuerdo de París, facilita la comparación entre modelos y regiones, y simplifica la comunicación de los riesgos, al asociarlos a metas climáticas concretas.

Tabla 2. Síntesis de los escenarios climáticos, trayectorias socieconómicas y niveles de calentamiento

SSP	Descripción breve	Descripción general
SSP1-1.9	Más optimista: 1,5 °C en 2050	Escenario más optimista del IPCC. Las emisiones globales de CO2 se reducen a cero en torno a 2050. Las sociedades cambian a prácticas más sostenibles, pasando del crecimiento económico al bienestar general. Los fenómenos meteorológicos extremos son más frecuentes y continúan procesos más lentos como el aumento del nivel del mar, pero el mundo ha esquivado los peores impactos del cambio climático. Es el único que cumple con el objetivo del Acuerdo de París de mantener el calentamiento global en torno a 1,5 °C por encima de las temperaturas preindustriales. Se alcanzan los 1,5 °C, pero la temperatura media luego desciende y se estabiliza en torno a los 1,4 °C a finales de siglo.
SSP1-2.6	Siguiente mejor: 1,8 °C en 2100	En el siguiente mejor escenario, las emisiones globales de CO2 se reducen drásticamente, pero no tan rápidamente, alcanzando el cero emisiones después de 2050. Cambios socioeconómicos hacia la sostenibilidad equivalentes a SSP1-1.9. Las temperaturas se estabilizan en torno a 1,8 °C por encima de las preindustriales a finales de siglo.
SSP2-4.5	Intermedio: 2,7 °C en 2100	Escenario "intermedio". Las emisiones de CO2 rondan los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo, pero no llegan a cero antes de 2100. Los factores socioeconómicos siguen sus tendencias históricas, sin cambios notables. El progreso hacia la sostenibilidad es lento, y el desarrollo y la renta crecen de forma desigual. En este escenario, las temperaturas aumentan 2,7 °C a finales de siglo.
SSP3-7.0	Peligroso: 3,6 °C en 2100	Las emisiones y las temperaturas aumentan constantemente y las emisiones de CO2 se duplican aproximadamente con respecto a los niveles actuales para el año 2100. Los países se vuelven más competitivos entre sí, orientándose hacia la seguridad nacional y asegurando su propio suministro de alimentos. A finales de siglo, la temperatura media habrá aumentado 3,6 °C.
SSP5-8.5	A evitar a cualquier precio: 4,4 °C en 2100	Es un futuro que hay que evitar a toda costa. Los niveles actuales de emisiones de CO2 se duplican aproximadamente en 2050 y continúan creciendo a ese ritmo varias décadas después. La economía mundial crece rápidamente, pero este crecimiento se alimenta de la explotación de los combustibles fósiles y de estilos de vida que consumen mucha energía. En 2100, la temperatura media del planeta es de 4,4 °C más sobre los valores preindustriales.

Ambos enfoques presentan ventajas complementarias. Los niveles de calentamiento permiten una evaluación más directa de los umbrales de impacto, ayudan a orientar políticas climáticas basadas en límites físicos del sistema y resultan especialmente útiles en contextos donde la claridad comunicativa es prioritaria. Por su parte, los escenarios integrados permiten planificar medidas de adaptación asociadas a horizontes temporales definidos, diseñar infraestructuras resilientes, y analizar las interacciones entre cambio climático, desarrollo socioeconómico, transición energética y otras dimensiones de política pública. Esta capacidad resulta particularmente importante para análisis que deben vincularse a calendarios normativos o de inversión, como los relacionados con las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC), la estrategia climática a largo plazo de la UE o los planes nacionales de adaptación.

Sin embargo, el uso de niveles de calentamiento implica también ciertas limitaciones. La más relevante desde una perspectiva operativa es su ambigüedad temporal: un mismo incremento de temperatura puede alcanzarse en momentos temporales distintos, dependiendo de la trayectoria de emisiones seguida. Esta indeterminación puede dificultar la planificación de políticas y acciones que requieren una clara referencia temporal. Además, al no incorporar el contexto socioeconómico asociado, se pierde la capacidad de explorar cómo evolucionan la exposición y la vulnerabilidad, lo cual es fundamental para una evaluación de riesgos robusta. Por otro lado, aunque muchos modelos climáticos permiten identificar resultados vinculados a determinados niveles de calentamiento mediante técnicas de postproceso, esta operación no siempre es aplicable de forma consistente en todas las regiones y variables, lo que puede limitar la comparabilidad y la coherencia de los análisis.

En la **Tabla 3**, se muestra una comparación entre los aspectos más reseñables de ambas metodologías:

Tabla 3. Comparación entre la metodología basada en Niveles de calentamiento y la basada en Escenarios de emisiones.

Criterio	Niveles de calentamiento	Escenarios de emisiones
Definición	Umbrales de incremento de temperatura media global respecto al periodo preindustrial	Futuros climáticos plausibles vinculados al desarrollo social, económico y productivo
Relación con la escala temporal	No asociadas a fechas fijas; un mismo nivel puede alcanzarse en distintos momentos	Asociadas a horizontes temporales concretos (2030, 2050, 2100, etc.)
Relación con la exposición y vulnerabilidad	Implícita o ausente; requiere suposiciones externas si se necesita estimar exposición o vulnerabilidad	Explícita, permite modelar cómo cambian con el tiempo
Aplicación	Análisis de umbrales de impacto físico, comunicación de riesgos, evaluación de límites climáticos	Modelos integrados de evaluación, NDC, estrategias nacionales y europeas de adaptación
	Evaluación del cumplimiento del Acuerdo de París, análisis de impactos físicos agregados	Evaluación de impactos integrados, planificación sectorial, planeamiento de políticas sostenibles de mitigación y adaptación
Ventajas	Claridad comunicativa, comparabilidad entre regiones, enfoque centrado en los límites biofísicos del sistema	Escenarios socioeconómicamente plausibles y compatibles con decisiones de política pública
Limitaciones	Ambigüedad temporal, falta de contexto socio-económico y tecnológico, menor aplicabilidad para planificación de la adaptación	Complejidad metodológica, dependencia de múltiples supuestos

En la práctica, se ha consolidado una estrategia metodológica híbrida que combina ambos enfoques. Los niveles de calentamiento se utilizan para identificar umbrales críticos de riesgo climático y evaluar la suficiencia de las políticas de mitigación, mientras que los escenarios SSP-RCP permiten contextualizar estos riesgos en trayectorias socioeconómicas plausibles y definir horizontes temporales para llevar a cabo la adaptación. Este enfoque integrado es coherente con los marcos de evaluación utilizados por el IPCC y por diversas instituciones europeas, y permite superar las limitaciones inherentes a cada uno de los enfoques si se usan de forma aislada. En la **Tabla 4**, se recoge, a modo resumen, las ventajas e inconvenientes de cada aproximación en función de diferentes criterios vinculados a los objetivos marcados en este proyecto.

Tabla 4. Ventajas e inconvenientes de la metodología basada en Niveles de calentamiento y la basada en Escenarios de emisiones.

Criterio	Niveles de calentamiento	Escenarios de emisiones
Evaluación de umbrales físicos de riesgo	Alta utilidad	Menor claridad
Planificación con fechas objetivo	Ambiguo	Muy útil
Evaluación de soluciones robustas bajo incertidumbre, especialmente a largo plazo	Adecuado	Depende del escenario
Diseño de infraestructuras resilientes	Requiere estimar horizontes temporales	Compatible con diseño para toda la vida útil
Inclusión de factores sociales y económicos	Limitado	Completo
Comunicación a tomadores de decisiones y público general	Más intuitivo	Más técnico

Anexo II
Fuentes de información climática

La planificación y análisis del riesgo climático requieren el uso de fuentes fiables de información y herramientas técnicas contrastadas. A continuación, se describen algunos recursos clave, disponibles en acceso abierto, que resultan especialmente útiles para técnicos, planificadores e investigadores que trabajan en el ámbito de la adaptación al cambio climático.

a. AdapteCCa. Visor de Escenarios de Cambio Climático

El visor de escenarios de AdapteCCa, desarrollado en el marco de la Plataforma Española de Adaptación al Cambio Climático, ofrece acceso a proyecciones climáticas regionalizadas para España. Integra resultados de modelos globales y regionales (EURO-CORDEX, entre otros) y permite consultar variables climáticas clave bajo diferentes escenarios de emisiones. Destaca por su orientación a la adaptación sectorial y territorial, facilitando la exploración interactiva de mapas, series temporales y comparaciones espaciales. Incluye herramientas de descarga y visualización que permiten a administraciones, investigadores y sectores socioeconómicos disponer de información armonizada para la planificación de medidas de adaptación.

b. IPCC Data Distribution Centre

El Data Distribution Centre del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático proporciona acceso a conjuntos de datos, escenarios climáticos y socioeconómicos utilizados en los informes del IPCC. Facilita información estandarizada para análisis de riesgo, así como herramientas para la interpretación de escenarios y el uso de variables en contextos regionales y sectoriales. Es una referencia obligada para asegurar la coherencia con las metodologías y resultados del IPCC.

c. Copernicus Climate Data Store

El Copernicus Climate Data Store, desarrollado por el Servicio de Cambio Climático de Copernicus, ofrece acceso a un amplio repositorio de datos climáticos, incluyendo observaciones, reanálisis, proyecciones regionalizadas y productos derivados. Destaca por su interfaz amigable, la posibilidad de descarga masiva y la existencia de notebooks preconfigurados que permiten aplicar modelos de análisis directamente desde la plataforma. Incluye datos del conjunto ERA5, así como los productos de CORDEX para Europa.

d. Climate4Impact

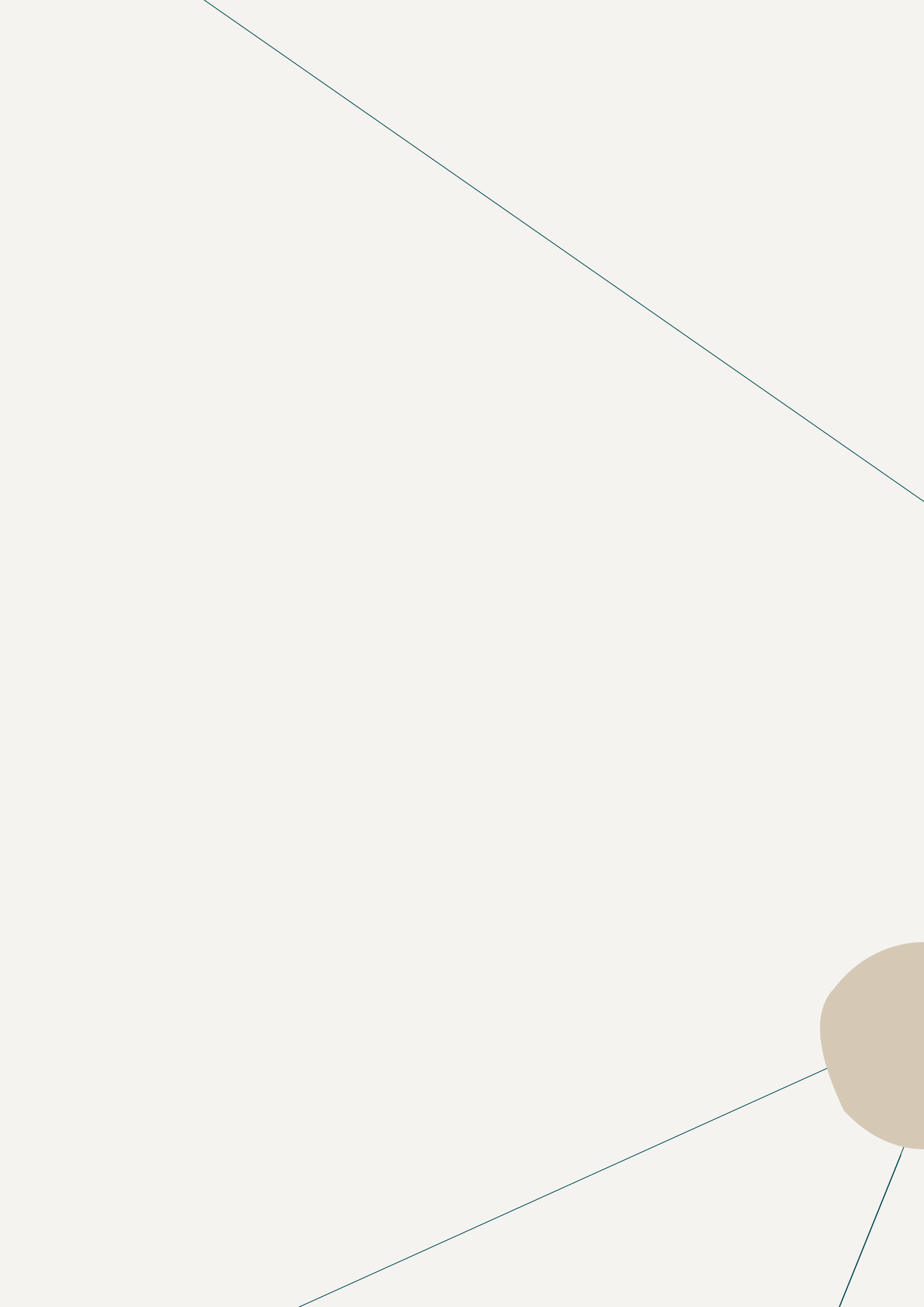
Esta plataforma facilita el acceso y procesamiento a partir de conjunto de modelos globales, regionales y de alta resolución. Está orientada a usuarios sectoriales que necesitan traducir los datos climáticos en impactos tangibles sobre agricultura, agua, energía u otros sectores sensibles al clima. Ofrece herramientas para análisis estadístico, representación geográfica e integración con software especializado.

ericc

Evaluación de
Riesgos e Impactos
del Cambio Climático

PARTE II

Análisis sectoriales



2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Salud humana

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autora: Elisa Sainz de Murieta (BC3)

Contribuyentes: María José Sanz (BC3), Ane Loroño (BC3)

Agradecimientos: Manuel Franco (BC3)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Sainz de Murieta, E. (2025). Salud humana. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. **Aspectos metodológicos y contenido del capítulo** / pág. 228

2. **Introducción** / pág. 230

3. **Riesgos relevantes** / pág. 231

4. **Riesgos clave** / pág. 248

   4.1. RC1.1. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables / pág. 249

   4.2. RC1.2. Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas / pág. 261

   4.3. RC1.3. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura / pág. 270

5. **Análisis de riesgos complejos** / pág. 278

6. **Caso de estudio** / pág. 281

7. **Limitaciones y particularidades metodológicas del sector** / pág. 283

8. **Referencias** / pág. 285

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Salud de la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevado a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos**. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

El cambio climático representa uno de los principales desafíos para la salud y el bienestar de las personas. Los estudios científicos más recientes señalan que los impactos del cambio climático afectan de manera cada vez más compleja e interconectada a la salud humana, tanto de forma directa como indirecta (van Daalen *et al*., 2024). El aumento de la temperatura, los cambios en el régimen de precipitaciones y el aumento de la frecuencia y magnitud de los fenómenos meteorológicos extremos tienen efectos directos sobre la salud humana. Los cambios en las variables climáticas también pueden generar impactos indirectos. Por ejemplo, la variación de temperaturas está generando cambios en la distribución de diversos vectores de enfermedades, como la malaria, el zika o el virus del Nilo Occidental. El cambio climático también puede contribuir a la expansión de enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos (Ascaso *et al*., 2024). Además, existen evidencias de efectos sinérgicos de variables climáticas con otros problemas ambientales. Por ejemplo, el aumento de la temperatura durante las olas de calor puede contribuir a empeorar la calidad del aire o la distribución de alérgenos (Romanello *et al*., 2023).

A ello se suman las implicaciones sociales y económicas de estos impactos, que afectan con mayor intensidad a las personas y territorios más vulnerables. Las desigualdades preexistentes en términos de edad, salud previa, nivel socioeconómico, género o acceso a servicios básicos pueden verse exacerbadas, generando brechas adicionales en la protección de la salud. Por otra parte, el carácter sistémico de muchos riesgos climáticos plantea importantes retos para la capacidad de respuesta del sistema sanitario (AAE, 2024). La magnitud de estos impactos en el futuro dependerá, en primer lugar, de los esfuerzos de mitigación que seamos capaces de llevar adelante y, por tanto, del nivel de calentamiento que se alcance. En segundo lugar, dependerá también de otros factores como los avances en materia de adaptación, el envejecimiento de la población, las tendencias de urbanización, el desarrollo económico y las desigualdades sociales (Ebi *et al*., 2021b).

En este capítulo se identifican y analizan los principales riesgos del cambio climático en el sector de la salud, tanto en lo relativo a la salud de las personas, como a la presión que éstos puedan tener sobre el sistema sanitario en nuestro país. Esta evaluación busca aportar una base de conocimiento actualizada y orientada a la acción, que sirva de apoyo a la planificación y a la toma de decisiones en materia de salud y adaptación al cambio climático.

3. Riesgos relevantes

En esta sección se hace una identificación preliminar de los principales riesgos del cambio climático sobre la salud humana. En primer lugar, se presenta el modelo conceptual utilizado para la identificación de los riesgos, basado en el análisis de sus componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. A continuación, se describe el resultado de este proceso y finalmente se incluye el listado de los riesgos relevantes identificados, a partir del cual se seleccionarán los riesgos clave.

En el estudio de los efectos del cambio climático sobre la salud humana, una gran parte de la bibliografía se ha ocupado de investigar los efectos del calor extremo. El aumento de las temperaturas es, sin duda, uno de los principales **peligros** que está afectando de manera directa a la salud en España. Los veranos de 2022 y 2023 han sido particularmente cálidos. Entre mayo y septiembre de 2022, los países del Mediterráneo occidental, incluyendo España, registraron anomalías de temperatura muy por encima de la media climatológica del periodo 1940-2000 (Büntgen *et al.*, 2024; Tejedor *et al.*, 2024).

El aumento de temperatura tiene implicaciones también de forma indirecta, ya que es un factor que contribuye a la expansión de vectores y enfermedades infecciosas, la ocurrencia de incendios forestales que afectan a la calidad del aire, o la floración de cianobacterias y otros microorganismos infecciosos, que favorecen la proliferación de enfermedades relacionadas con el agua y los alimentos. También son peligros relevantes los eventos meteorológicos y climáticos extremos, como precipitaciones intensas, inundaciones o sequías, que pueden afectar directa e indirectamente a la salud de las personas[3].

En el ámbito de la salud, la **exposición** viene determinada por una serie de factores que condicionan que la población pueda verse negativamente afectada por los peligros anteriormente mencionados. Factores como el grado de urbanización y el efecto isla de calor asociado a las ciudades densamente urbanizadas, favorecen una mayor exposición al calor de las zonas urbanas (Heaviside *et al.*, 2017). Globalmente, se estima que entre 1983 y 2016 la exposición urbana al calor extremo aumentó casi un 200 %, afectando a 1.700 millones de personas (Tuholske *et al.*, 2021). En España, casi el 80 % de la población reside en zonas predominantemente urbanas (Goerlich y Cantarino, 2015) y aunque la exposición abarca todo el territorio, existen diferencias geográficas importantes, puesto que los umbrales de temperatura a partir de los cuales se registra un aumento

[3] El capítulo de variables climáticas recoge la descripción y la evolución prevista de las diversas variables contempladas, incluyendo aquellas con mayor incidencia sobre la salud.

significativo de la mortalidad varían en función de las zonas climáticas de cada territorio (Linares *et al*., 2024). A futuro, Díaz *et al*. (2019) prevén que en el periodo 2021-2050 la mortalidad atribuible a las altas temperaturas, por encima de la temperatura de disparo de la mortalidad, en un escenario climático desfavorable[4] y sin adaptación se concentre en Alicante, Zaragoza, Madrid, Bizkaia y Sevilla. En la segunda mitad de siglo, a estos territorios se sumaría Barcelona. A finales de siglo, y en un escenario climático desfavorable (calentamiento de 3 °C), la mortalidad atribuible al calor aumentará en todas las provincias, pero especialmente en la zona centro (Castilla y León y Castilla La Mancha), Barcelona, Castellón y Baleares (García-León *et al*., 2024). Sin embargo, si se produjeran procesos de adaptación[5] al calor extremo, la mortalidad en el periodo 2051-2100 podría reducirse más de un 90 % respecto al escenario sin adaptación y solo Madrid seguiría mostrando un riesgo destacable (Díaz *et al*., 2019).

Otros factores que condicionan la exposición al calor son las ocupaciones laborales que se desarrollan en el exterior, en sectores como la construcción o la agricultura, pero también en sectores que implican un esfuerzo físico importante o condiciones de trabajo rigurosas. Según Flouris *et al*. (2024), el estrés térmico en entornos laborales es la combinación de un calor excesivo, el aislamiento térmico asociado con la vestimenta o los elementos de protección individual, y la actividad física desarrollada. En España, los riesgos sobre las personas trabajadoras, sin embargo, se concentrarían en el sur (Andalucía y Extremadura), Baleares y la costa levantina. A finales de siglo, se esperan impactos significativos en todo el estado, sobre todo en la mitad sur peninsular, Cataluña y Aragón, con menor incidencia en la cornisa cantábrica y Galicia (Szewczyk *et al*., 2021).

En relación con el riesgo asociado a vectores infecciosos, actualmente las zonas más favorables para la expansión de mosquitos del género *Anopheles* son el suroeste de la península ibérica y parte de la costa levantina. A finales de siglo se espera que las zonas favorables se extiendan a Castilla y León y la cuenca del Ebro (Hertig, 2019). En relación con el virus del Nilo Occidental, hasta finales de la década de 1990 se producían principalmente casos aislados. Sin embargo, en las últimas décadas se ha dado un aumento de los casos y el cambio climático se espera que contribuya a su expansión. Farooq *et al*. (2023) identifican Cataluña, algunas zonas de Aragón, Alicante y el suroeste de Andalucía como las principales zonas de riesgo en niveles bajos de calentamiento.

Desde una perspectiva de salud, la **vulnerabilidad** de las personas constituye una componente del riesgo multidimensional que está determinada por factores sociales, económicos, ambien-

[4] El estudio utiliza el escenario RCP8.5 que, tal y como se ha mostrado en la metodología, se corresponde con un nivel de calentamiento de 1,1 – 2,6 en el periodo 2021-2040.

[5] Díaz *et al*. (2019) definen el escenario con adaptación como aquel en el que la temperatura de disparo de la mortalidad aumenta. Es decir, la temperatura a partir de la cual la mortalidad aumenta de forma significativa es cada vez más alta.

tales, físico-tecnológicos, y de gobernanza (Eklund *et al*., 2023). La **vulnerabilidad social** es un concepto complejo donde se dan múltiples definiciones que pueden dificultar su integración en la planificación (Brown *et al*., 2017; Ford *et al*., 2018; Jessen *et al*., 2025). En la literatura académica sí se observa un cierto consenso sobre las características que definen a las poblaciones más vulnerables desde una perspectiva social, como son el origen étnico, la clase socioeconómica, el estado de salud, la edad y el sexo (Tuomimaa *et al*., 2023). Las personas con enfermedades subyacentes y crónicas son especialmente vulnerables al calor extremo (López-Bueno *et al*., 2023; Salvador *et al*., 2023; Turner *et al*., 2012), así como a los efectos de la contaminación atmosférica. La edad es también un condicionante relevante, puesto que además de los colectivos vulnerables, la mortalidad por calor se dispara en personas mayores de 65 años (Gronlund *et al*., 2016), aunque lactantes y niños y niñas de corta edad también se consideran grupos particularmente vulnerables (Schinasi *et al*., 2020).

El nivel socioeconómico es otro factor clave que condiciona la vulnerabilidad (Ebi *et al*., 2021b; Romanello *et al*., 2023). Las desigualdades impulsan la sensibilidad diferencial a los impactos del cambio climático y al mismo tiempo, el cambio climático puede exacerbar las desigualdades existentes en términos de clase, etnia y género (Thomas *et al*., 2019). Desde esta perspectiva, la renta, la situación laboral o el nivel educativo son determinantes clave de la **vulnerabilidad socioeconómica** frente a los riesgos del cambio climático, puesto que son condicionantes que afectan la capacidad de respuesta, recuperación y adaptación ante impactos climáticos. Por ejemplo, la renta puede limitar el acceso a sistemas de climatización, a una vivienda con buen aislamiento térmico, a una alimentación adecuada o a servicios sanitarios de calidad. La inseguridad financiera también puede limitar la capacidad de recuperación tras impactos climáticos, también cuando estos conllevan un deterioro del estado de salud. Aunque el nivel educativo puede enmarcarse también en la dimensión social, guarda una estrecha relación con la vulnerabilidad económica, ya que influye tanto en las oportunidades laborales como en la capacidad para comprender y aplicar información sobre riesgos y medidas de prevención (Smith *et al*., 2015).

La **vulnerabilidad ambiental** constituye otra dimensión clave en el análisis del riesgo climático sobre la salud, ya que los entornos degradados o con menor resiliencia ecológica pueden amplificar la exposición a riesgos derivados del cambio climático. La pérdida de biodiversidad, la escasez de zonas verdes o azules y la contaminación atmosférica agravan los efectos de eventos extremos como las olas de calor, contribuyendo a empeorar la calidad del aire (Tuomimaa *et al*., 2023). En particular, la degradación de ecosistemas en entornos urbanos en climas mediterráneos (caracterizados por baja eficiencia energética de los edificios, escasez de arbolado y materiales urbanos que retienen el calor) puede aumentar la vulnerabilidad de la población residente (Marí-Dell'Olmo *et al*., 2022). Asimismo, la calidad del entorno ambiental puede influir también en la circulación de vectores.

Las características y ubicación de residencia también aparecen como un factor que afecta a la vulnerabilidad, puesto que puede determinar la exposición, la disponibilidad de zonas verdes (Chiabai *et al.*, 2020) o refugios climáticos en su entorno (Amorim-Maia *et al.*, 2023), la calidad constructiva de los edificios o el acceso a servicios públicos (López-Bueno *et al.*, 2020). Como se ha mencionado anteriormente, diversos estudios apuntan a que las ciudades son particularmente vulnerables a lo que se conoce como el efecto isla de calor, proceso por el que se registran temperaturas generalmente más altas que en las zonas rurales o suburbanas circundantes (Heaviside *et al.*, 2017; Marí-Dell'Olmo *et al.*, 2022). No obstante, también existen algunas evidencias de que se está dando una mayor adaptación al calor en zonas urbanas en comparación con zonas rurales, aunque esto podría estar relacionado con una mayor disponibilidad de recursos en las ciudades (Navas-Martín *et al.*, 2022b). En ocasiones, estos aspectos relacionados con las características de las infraestructuras urbanas se conceptualizan como parte de los factores de exposición. Sin embargo, como determinan el grado de vulnerabilidad, se ha optado por incluirlos como parte de la **dimensión físico-tecnológica** de la vulnerabilidad.

Por otro lado, la **gobernanza** desempeña un papel esencial como determinante estructural de la vulnerabilidad, al influir tanto en la generación de desigualdades como en la capacidad de respuesta institucional ante los riesgos climáticos. Las políticas públicas, los marcos normativos y la coordinación entre niveles de gobierno condicionan la distribución de recursos y la planificación de medidas de adaptación. Una gobernanza poco inclusiva puede agravar la exposición diferencial a riesgos y limitar las oportunidades de resiliencia, especialmente en los grupos más desfavorecidos. Desde un enfoque de justicia climática, resulta imprescindible fortalecer la gobernanza multinivel y asegurar la participación de la ciudadanía y de los colectivos vulnerables en la toma de decisiones, a fin de reducir desigualdades y mejorar la preparación del sistema de salud ante los impactos del cambio climático (Marí-Dell'Olmo *et al.*, 2022).

Diversos **factores de riesgo subyacentes** pueden contribuir a agravar la exposición y vulnerabilidad en materia de salud. Las políticas de salud, si bien pueden considerarse parte de la vulnerabilidad de gobernanza frente al riesgo climático, también constituyen un factor subyacente estructural cuya evolución puede modular significativamente la exposición y la capacidad de respuesta ante riesgos climáticos (Sheehan, 2022). De igual manera, una planificación urbana que no tiene en cuenta los componentes del riesgo en la actualidad y en el futuro puede contribuir a agravar los riesgos del cambio climático sobre la salud (Marí-Dell'Olmo *et al.*, 2022). Las variaciones en el precio de la energía, que puede afectar al uso de elementos de climatización, los cambios demográficos, la información y la percepción sobre el cambio climático, así como la aceptabilidad de las políticas de adaptación pueden ser otros factores de riesgo subyacente (Ebi y Hess, 2020; Helgeson *et al.*, 2012; Rufat y Botzen, 2022).

A partir de la revisión de la literatura, se han identificado diez riesgos relevantes, que pueden dividirse en cuatro grandes grupos: riesgos relacionados con el aumento de las temperaturas, con los eventos meteorológicos extremos, con la expansión de enfermedades infecciosas y otros riesgos relacionados con la salud. La **Figura 1** presenta el modelo conceptual utilizado para la identificación de los riesgos relevantes del cambio climático sobre la salud, que se describen a continuación.

Salud humana

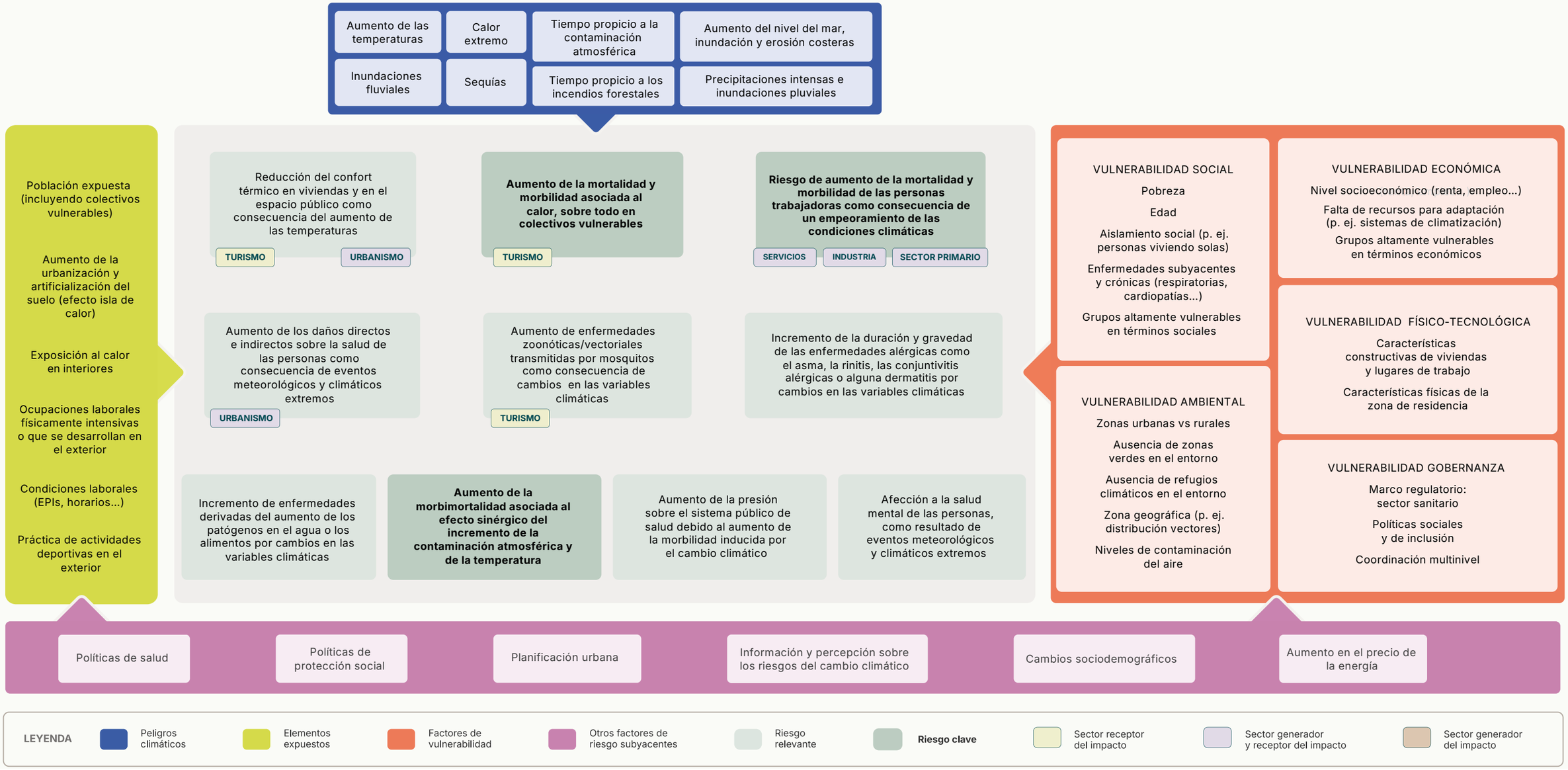


Figura 1. Modelo conceptual de los riesgos del cambio climático sobre la salud y sus componentes.

Riesgos relacionados con el aumento de las temperaturas

Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables.

El calor extremo es uno de los principales peligros del cambio climático sobre la salud humana. Se estima que, globalmente, el 37 % de las muertes relacionadas con el calor entre 2000 y 2020 pueden atribuirse al cambio climático antropogénico (Vicedo-Cabrera *et al.*, 2021). Estos efectos no se distribuyen de forma homogénea, sino que afectan de forma muy diferente a personas y colectivos vulnerables. La vulnerabilidad ante el calor en Europa se debe principalmente a la estructura de edad de su población, la prevalencia de enfermedades preexistentes, las desigualdades de renta y de las infraestructuras sanitarias, así como el grado de urbanización (Van Daalen *et al.*, 2022). Geográficamente, también existen diferencias notables: a pesar de que la temperatura umbral que induce un aumento de la mortalidad relacionada con el calor es generalmente más alta en el sur (Díaz *et al.*, 2015), en los países del sur de Europa se registran 6 veces más fallecimientos por calor extremo que en el norte (García-León *et al.*, 2024). Se estima que durante la ola de calor que afectó a Europa en 2003 fallecieron en torno a 70.000 personas, y casi dos décadas después, durante la ola de calor de 2022, la mortalidad pudo superar las 61.000 personas (Ballester *et al.*, 2023).

El efecto del calor sobre la mortalidad es uno de los riesgos del cambio climático sobre la salud que está mejor documentado, pero éste también da lugar a un incremento de la morbilidad (van Daalen *et al.*, 2024). Aunque ha recibido relativamente menos atención que la mortalidad, cada vez existen más estudios que analizan los efectos del calor sobre el sistema cardiorrespiratorio (Cheng *et al.*, 2019), enfermedades renales (López-Bueno *et al.*, 2023), salud mental (Thompson *et al.*, 2018), afecciones a la población infantil y juvenil, además de desórdenes nutricionales y endocrinos, entre otros (Alho *et al.*, 2024).

Sin adaptación, se prevé que el aumento de las temperaturas dé lugar a un incremento de la mortalidad en la UE. En un escenario optimista de calentamiento global de 1,5 °C, el número de fallecidos podría alcanzar en torno a 58.057 (47.498–70.575) personas, y más del doble, 128.809 (100.283–148.453) personas en un escenario de calentamiento global de 3 °C. En España, el cambio climático podría dar lugar a 7.501 (6.819–8.937) personas fallecidas con escenarios de calentamiento de 1,5 °C y casi tres veces más, 20.194 (18.129–24.401) personas, si la temperatura global alcanza un aumento de 3 °C (García-León *et al.*, 2024). Díaz *et al.* (2019) obtienen resultados más moderados, de casi 13.000 personas fallecidas al año (9.852–15.976) a partir de 2050 en el escenario de calentamiento más desfavorable (RCP8.5). Sin embargo, el mismo estudio obtiene que los impactos podrían reducirse a menos de 1000 muertes al año (931, 770–1.081) si se dan procesos de adaptación a los efectos del calor y la temperatura umbral a la que se dispara la mortalidad aumenta junto con el aumento de la

temperatura. Precisamente se han hallado evidencias de la existencia de procesos de adaptación en España, con diferencias entre territorios y donde los factores determinantes son socioeconómicos, climáticos y relacionados con las políticas de salud (Navas-Martín *et al.*, 2022b).

Riesgo de reducción del confort térmico en viviendas y en el espacio público como consecuencia del aumento de las temperaturas.

El aumento de las temperaturas y la mayor frecuencia de episodios de calor extremo afectan al confort térmico y a la salud de la población, tanto en el interior de las viviendas como en el espacio público. La exposición a un entorno térmico inadecuado puede provocar estrés térmico, deshidratación, exacerbación de enfermedades crónicas y aumento de la mortalidad, especialmente entre personas mayores, menores y colectivos con enfermedades preexistentes (Jendritzky *et al.*, 2012).

Factores como la calidad de la vivienda, el aislamiento térmico, la existencia o no de sistemas de refrigeración y la posibilidad de realizar una ventilación adecuada influyen de forma determinante en la vulnerabilidad de la población (López-Bueno *et al.*, 2022). En España, se han detectado niveles elevados de pobreza energética, lo que limita la capacidad de los hogares para mantener condiciones térmicas adecuadas (Santamouris y Kolokotsa, 2015). En Andalucía, el 38 % del parque analizado de vivienda social ya está en riesgo de sobrecalentamiento y, sin adaptación, podría alcanzar el 100 % en 2050 (Calama-González *et al.*, 2024; Escandón *et al.*, 2022). La adopción de sistemas de climatización es una estrategia de adaptación frecuente, pero su uso masivo conlleva implicaciones ambientales y de demanda energética que pueden retroalimentar el cambio climático (Davis y Gertler, 2015; De Cian *et al.*, 2019).

En el espacio público, el riesgo se ve amplificado por el efecto de isla de calor urbana y la ausencia de sombra o vegetación, lo que limita las oportunidades de alivio térmico y aumenta la exposición durante actividades cotidianas (López-Bueno *et al.*, 2022). Los refugios climáticos son una infraestructura importante para impulsar la adaptación de la población urbana al calor y otros eventos climáticos extremos (Amorim-Maia *et al.*, 2023). Se estima que en España hay más de 2.100 refugios climáticos, un número en aumento, aunque se considera insuficiente. Cataluña es la comunidad autónoma con más refugios (1.707) y Barcelona ha sido pionera en la planificación de estos espacios. Les siguen Euskadi (245), Murcia (70) y Madrid (40) (Olcina *et al.*, 2025).

Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas.

El aumento de las temperaturas está afectando a la salud de las personas trabajadoras, tanto

en ocupaciones realizadas al aire libre como en interiores con exposición a altas temperaturas (Van Daalen *et al.*, 2022). La evidencia epidemiológica muestra que el impacto del calor va más allá de los golpes de calor y otras enfermedades agudas y puede contribuir a aumentar el riesgo de accidentes laborales incluso en días sin alerta oficial, especialmente cuando hay esfuerzo físico o uso de equipos de protección que dificultan la disipación del calor. Se han documentado también efectos a largo plazo, incluyendo el empeoramiento de enfermedades preexistentes en personas trabajadoras expuestas repetidamente al calor y a la deshidratación. Además, el calor puede interactuar con contaminantes químicos y aumentar su toxicidad, así como comprometer los mecanismos de termorregulación (Narocki, 2021). La exposición prolongada a altas temperaturas también disminuye el rendimiento cognitivo, reduciendo la memoria de trabajo, la atención y la velocidad de reacción, lo que incrementa la probabilidad de errores y lesiones (Martin *et al.*, 2019).

La intensidad y las consecuencias de los efectos del calor en el entorno laboral no son homogéneas, sino que dependen de una combinación de factores. Narocki (2021) subraya que es importante diferenciar el riesgo en función de las circunstancias que lo generan, ya que la respuesta preventiva y de adaptación variará en cada caso. Por un lado, influyen las condiciones de trabajo, que pueden implicar exposición directa al calor en actividades laborales que se realizan al aire libre, como en la construcción, la agricultura y la ganadería, el turismo o la limpieza. También pueden ser actividades que se desarrollan en interiores, pero con exposición a fuentes internas de calor (como cocinas o entornos industriales), especialmente si se combinan con otros factores como el esfuerzo físico o el uso de vestimenta de seguridad. A ello se añaden los factores de vulnerabilidad personal, ligados a características como la edad, la existencia de enfermedades previas o el estado físico general. Finalmente, los factores de vulnerabilidad social pueden agravar el riesgo, particularmente en contextos de precariedad laboral, lo que amplifica desigualdades sociales y económicas.

Las consecuencias de estos riesgos son también económicas, e incluyen la reducción de la capacidad de trabajo y del rendimiento laboral, así como el incremento de costes asociados a la atención sanitaria y a la sustitución de personal (Lucas *et al.*, 2014). A falta de métricas más completas que integren todas las implicaciones del calor sobre la población trabajadora, la literatura suele utilizar indicadores de impacto relacionados con la productividad laboral. Se ha observado que la exposición al calor afecta tanto a la oferta de mano de obra (número de horas trabajadas) como a la productividad laboral (producción durante esas horas). En Europa, la oferta de mano de obra fue un 1,05 % más baja (casi 17 horas por persona trabajadora y año) en el periodo 2016-20 comparado con 1965-94. La mayor reducción se registró en Andalucía, Extremadura, Valencia y Baleares, seguida de Chipre y algunas zonas de Grecia e Italia. No todas las regiones se verán negativamente afectadas: el aumento de temperaturas pudo favorecer a algunas regiones europeas, en el norte (Finlandia) y centro (Austria, norte de Italia), registrándose un aumento de la productividad (van Daalen *et al.*, 2024).

Riesgos asociados a eventos meteorológicos extremos

Riesgo de aumento de los daños directos e indirectos sobre la salud de las personas como consecuencia de eventos meteorológicos y climáticos extremos.

Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, como inundaciones, sequías, incendios forestales e inundaciones costeras, pueden tener repercusiones directas e indirectas sobre la salud de las personas. Entre los daños directos destacan la mortalidad y la morbilidad derivada, por ejemplo, de traumatismos o el colapso de estructuras (Bell *et al.*, 2018). Entre el año 2000 y 2023, los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos causaron en España más de 163 víctimas mortales, 200 personas heridas y 53.000 personas damnificadas, mientras que las pérdidas económicas casi superaron 10.000 millones de euros[6].

No obstante, el 28 de octubre de 2024 se produjo el episodio de inundaciones más grave registrado en la historia reciente del país, con un total de 237[7] víctimas mortales y enormes daños materiales. El impacto se concentró en la Comunidad Valenciana, pero también alcanzó a municipios de Castilla La Mancha y Andalucía. Además del profundo sufrimiento causado por la pérdida de vidas humanas y las personas heridas durante la catástrofe, se suma la destrucción de viviendas y negocios, junto con la interrupción de los servicios y la pérdida de puestos de trabajo, que provocaron una importante inestabilidad económica para las familias afectadas (Martin-Moreno *et al.*, 2025). El Consorcio de Compensación de Seguros ha estimado que el coste total de las indemnizaciones por daños asociados a la DANA se aproximará a los 4.500 millones de euros (las indemnizaciones ya abonadas por el CCS en junio de 2025 sumaban 3.162,5 M€). Los impactos económicos totales, incluyendo bienes no asegurados, serán muy superiores.

Además de los impactos físicos inmediatos, los eventos extremos como las inundaciones pueden generar una variedad de daños indirectos sobre la salud, como la contaminación de las aguas potables (Erickson *et al.*, 2019). Durante la DANA de 2024, se detectó un aumento del 20 % en enfermedades de transmisión hídrica como gastroenteritis y leptospirosis, debido al contacto con aguas contaminadas (Martin-Moreno *et al.*, 2025). Además, pueden darse interrupciones de suministro eléctrico y daños sobre las infraestructuras sanitarias y de transporte, lo que limita la capacidad de respuesta del sistema de salud en un momento de gran demanda (Klinger *et al.*, 2014; Srinivasan *et al.*, 2003). Asimismo, la proliferación de agua estancada favorece la expansión

[6] Los datos se obtuvieron de la Base de Datos Internacional sobre Catástrofes, accesible en: https://www.emdat.be/

[7] https://www.lamoncloa.gob.es/info-dana/Paginas/2025/171125-datos-seguimiento-actuaciones-gobierno.aspx

de vectores como los mosquitos, lo que puede aumentar el riesgo de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores (Bell *et al*., 2018).

También pueden darse efectos sobre la salud mental, que incluyen un aumento del estrés, la ansiedad, la depresión y, en algunos casos, síntomas asociados al trastorno de estrés postraumático (TEPT) (Lowe *et al*., 2019). Además, estos impactos pueden prolongarse mucho más allá de la fase aguda del evento, afectando especialmente a personas desplazadas, aquellas con viviendas destruidas o quienes han perdido a seres queridos (Sandifer y Walker, 2018). Las afecciones a la salud mental focalizan un riesgo con entidad propia que se describe más adelante.

Schmitt *et al*. (2016) concluyen que el impacto de los fenómenos meteorológicos extremos en la salud humana constituye un importante efecto económico que, además, es probable que aumente rápidamente en el futuro, a menos que se tomen medidas de adaptación. Estos fenómenos también tienen importantes implicaciones distributivas, por lo que se están convirtiendo en un importante problema de salud pública. Es necesario seguir trabajando para determinar el abanico de costes asociados a estos impactos para las próximas décadas hasta 2050 y más allá, en diferentes escenarios climáticos.

Riesgo de afección a la salud mental de las personas, como resultado de eventos meteorológicos y climáticos extremos.

Los efectos indirectos de estos sucesos incluyen problemas de salud mental, como depresión, ansiedad, estrés (Ebi y Bowen, 2016; Foudi *et al*., 2017; Mostafizur Rahman *et al*., 2023), e incluso indicios de trastorno de estrés postraumático (TEPT) en poblaciones expuestas a inundaciones (Nasri *et al*., 2020). Estos impactos pueden perdurar en el tiempo, ya que el malestar psicológico relacionado con las inundaciones se ha documentado incluso varios años después del evento (Ebi y Bowen, 2016; Leal Filho *et al*., 2022). Además, factores posteriores al desastre pueden actuar como estresores secundarios. Entre ellos, la gestión de los seguros se ha identificado como una fuente adicional de estrés para las víctimas de las inundaciones (McKenzie *et al*., 2022). En general, en Europa se observa que los diversos tipos de eventos extremos (olas de calor, incendios, inundaciones, tormentas, sequías) tienen en común un impacto adverso sobre la salud mental y el bienestar, aunque la magnitud y la solidez de la evidencia varíen entre fenómenos (Weilnhammer *et al*., 2021).

Estudios recientes apuntan a que los sistemas de salud pública requieren más recursos y una mayor concienciación sobre los vínculos entre el cambio climático y la salud mental, de modo que los profesionales estén en mejores condiciones de reconocer síntomas y atender a pacientes afectados por eventos extremos (Leal Filho *et al*., 2022).

La vulnerabilidad frente a los impactos de los eventos extremos en la salud mental no es uniforme. Algunos grupos, como personas mayores, individuos con enfermedades previas o colectivos socioeconómicamente desfavorecidos, son más susceptibles a los impactos generados por estos eventos. En particular, los niños presentan una especial vulnerabilidad, ya que los episodios de ansiedad, estrés o trauma asociados a desastres naturales pueden afectar de manera duradera a su desarrollo emocional y sus capacidades cognitivas (AAE, 2024).

Riesgos relacionados con enfermedades infecciosas

Riesgo de aumento de enfermedades zoonóticas/ vectoriales transmitidas por mosquitos como consecuencia de cambios en las variables climáticas.

Son cada vez más abundantes los estudios que relacionan el cambio climático con la transmisión de enfermedades infecciosas, aunque es importante recordar que existen otros factores que también pueden favorecer dicha transmisión. Estos son factores no climáticos tales como el desarrollo socioeconómico, los procesos de urbanización, los usos del suelo, la destrucción de ecosistemas o la globalización, y pueden llegar a ser más relevantes que el cambio climático (Semenza y Menne, 2009).

La presencia de mosquitos que actúan como vectores de transmisión también ha aumentado. Es el caso de los mosquitos del género *Aedes*, que pueden transmitir enfermedades tropicales como el dengue, la chikungunya y el Zika (Romanello *et al.*, 2022). Debido al cambio climático, la distribución potencial de *Aedes albopictus*, que actualmente cubre la mayor parte de Europa occidental, podría extenderse hacia el este. En el caso del *Aedes aegypti*, su distribución se limita ya a determinadas zonas costeras, entre las que se encuentra la costa norte española y Canarias. Sin embargo, el cambio climático podría extender esta zona también a las costas de Cataluña, Valencia, Baleares y el Golfo de Cádiz (Kamal *et al.*, 2018).

En el caso del Virus del Nilo Occidental (VNO), transmitido por los mosquitos del género *Culex* (Colpitts *et al.*, 2012), se observa una tendencia creciente en Europa, particularmente en el este y sur del continente (van Daalen *et al.*, 2024), y existen varios casos registrados en España (Magallanes *et al.*, 2024). Según el Centro Europeo para la Prevención y el Control de las Enfermedades[8], desde 2008 al 31 de julio de 2024 se detectaron 118 casos de transmisión en personas en España, el 94 % de los cuales se ha registrado desde 2020. Como consecuencia

[8] https://www.ecdc.europa.eu/en

del cambio climático, se espera un aumento de la probabilidad de transmisión del VNO en varios países mediterráneos ya en 2025 y aún más para 2050 (Semenza *et al.*, 2016).

En cuanto a la malaria, aunque fue erradicada en la mayor parte de Europa, hay algunas especies de mosquito del género *Anopheles* responsables de su transmisión, que siguen presentes (Brugueras *et al.*, 2020). No obstante, se espera que el riesgo para la salud humana siga siendo bajo al menos hasta 2050 debido al contexto social, económico y sanitario existente (Bednar-Friedl *et al.*, 2022). De hecho, hay estudios que sugieren que ésta podría reducirse en el sur de Europa debido a la esperada disminución de las precipitaciones como consecuencia del cambio climático, mientras podría aumentar en los países del norte (Hertig, 2019). Sin embargo, hay estudios que apuntan en otra dirección (Fischer *et al.*, 2020).

Entre las enfermedades infecciosas de transmisión vectorial, la enfermedad de Lyme transmitida por garrapatas es la más prevalente en Europa (Erber y Schmitt, 2018). Estos artrópodos se consideran entre los más peligrosos debido a su facilidad para pasar de los animales a las personas, su ubicuidad y su capacidad para aglutinar microorganismos patógenos potencialmente transmisibles (Portillo *et al.*, 2018). Las previsiones apuntan a que la enfermedad de Lyme puede avanzar hacia los países del norte y a zonas de mayor altitud, pero que su expansión se frene en el sur de Europa (Bednar-Friedl *et al.*, 2022). De hecho, la incidencia más baja se ha observado en Italia, España y Portugal, aunque ésta ha aumentado en los últimos años (Vandekerckhove *et al.*, 2021).

Riesgo de incremento de enfermedades derivadas del aumento de los patógenos en el agua o los alimentos por cambios en las variables climáticas.

Los cambios en la temperatura, las precipitaciones y los fenómenos meteorológicos extremos pueden influir en la aparición de enfermedades transmitidas por los alimentos. En España, estos cambios podrían exacerbar enfermedades de transmisión alimentaria como la salmonelosis y la vibriosis, especialmente en mariscos y crustáceos de aguas más cálidas. El aumento de las temperaturas y la alteración de los regímenes de precipitaciones podrían, además, aumentar la contaminación de los productos agrícolas por patógenos, micotoxinas y residuos químicos (Tirado *et al.*, 2010). Según el último informe de la Agencia Europea para la Seguridad Alimentaria y el Centro Europeo de para la Prevención y Control de Enfermedades, que recoge los resultados de las actividades de seguimiento y vigilancia de las zoonosis en 2021 en Europa, las infecciones de origen alimentario son responsables de una morbilidad importante en Europa, y España ocupa el sexto lugar en cuanto al número de casos notificados (EFSA y ECDC, 2022). Ascaso *et al.* (2024) analizaron la relación de hospitalizaciones relacionadas con infecciones

alimentarias en Madrid con diversas variables climáticas. Los autores encontraron que una temperatura ambiental elevada es un factor de riesgo que favorece el aumento de las hospitalizaciones urgentes atribuibles, y observaron un mayor impacto en los días de ola de calor.

Otros riesgos relacionados con la salud

Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura.

La contaminación atmosférica es considerada el factor de riesgo medioambiental para la salud más importante en Europa. La exposición a contaminantes atmosféricos genera o agrava una serie de enfermedades específicas, como cardiopatías isquémicas, ictus, enfermedades pulmonares crónicas o asma. En 2021, se estima para la UE-28 más de 253.000 muertes atribuibles a la exposición a partículas finas ($PM_{2,5}$), 52.000 por exposición a dióxido de nitrógeno (NO_2) y 22.000 por la exposición a corto plazo al ozono troposférico (O_3). En España se estima que la exposición a partículas finas fue responsable de más de 14.000 muertes atribuibles, mientras que la mortalidad atribuible al NO_2 y O_3 fue 4.600 y 2.300, respectivamente (AAE, 2023).

A nivel global, se estima que el exceso de mortalidad por todas las causas debidas a la contaminación atmosférica por partículas finas y ozono es de 8,3 millones de muertes al año. De éstas, en torno al 60 % (5,1 millones) se deben a la contaminación generada por los combustibles fósiles (Lelieveld *et al.*, 2023). Además, los estudios prevén que el aumento de las temperaturas como consecuencia del cambio climático antropogénico acentúe la mortalidad asociada a la contaminación atmosférica (Orru *et al.*, 2019). En un escenario de altas emisiones (RCP8.5), el exceso de mortalidad asociado a la contaminación por partículas finas podría aumentar en un 73 % en 2050 (Tarín-Carrasco *et al.*, 2021). A su vez, las olas de calor pueden verse amplificadas por la entrada de aire cálido y seco procedente del norte de África, que transporta además material particulado de origen sahariano (predominantemente PM_{10}), cuya frecuencia podría aumentar como consecuencia del cambio climático. Igualmente, los incendios forestales contribuyen a empeorar la calidad del aire, especialmente la concentración de material particulado, lo que se ha relacionado con un incremento de las hospitalizaciones (Ruiz-Páez *et al.*, 2024). No obstante, las consecuencias de las olas de calor sobre la salud no se deben solo a las altas temperaturas, sino también a los contaminantes atmosféricos que actúan de forma sinérgica. De hecho, algunos estudios apuntan a que durante las olas de calor el efecto de la contaminación del aire sobre la mortalidad y morbilidad es mayor que el de las altas temperaturas (Ruiz-Páez *et al.*, 2023).

Contaminación atmosférica y cambio climático están, por tanto, estrechamente interrelacionados.

Multitud de estudios evidencian los beneficios adicionales que las políticas de mitigación conllevan en términos de reducción de la contaminación atmosférica (ver, por ejemplo, Workman *et al.*, 2019). Estos cobeneficios para la salud no son en absoluto desdeñables: las políticas de mitigación podrían generar unos beneficios adicionales para la salud cuyo valor oscila entre el 7 % y el 84 % de los costes de dichas políticas en los países de la UE (Markandya *et al.*, 2018).

Riesgo de aumento de la presión sobre los sistemas públicos de salud inducida por el cambio climático.

El cambio climático no solo está afectando a la salud de las personas, sino que también implica presiones adicionales para los sistemas de salud (OMS, 2015). En primer lugar, el aumento de la morbilidad dará lugar a un aumento de la demanda de servicios sanitarios y, consecuentemente, de los gastos sanitarios (Sellers y Ebi, 2018). Además, si el cambio climático evoluciona por escenarios desfavorables, los sistemas e infraestructuras sanitarias pueden verse desbordados, lo que puede dar lugar a mayores tasas de morbilidad y mortalidad debido a la insuficiente capacidad para hacer frente a los impactos del cambio climático (op. cit.).

Las infraestructuras sanitarias, como hospitales, centros de atención social y residencias, no siempre están diseñadas para soportar temperaturas extremas, lo que aumenta el riesgo de fallos en la climatización y compromete la atención a pacientes y personal durante las olas de calor. Según datos del Observatorio Europeo sobre Clima y Salud[9], hospitales de Cataluña, País Vasco, Andalucía, Murcia y Baleares se encuentran en zonas donde el efecto isla de calor es superior a 2 °C. También las sequías amenazan la disponibilidad de agua necesaria para mantener condiciones de higiene adecuadas en hospitales y residencias. Por su parte, las inundaciones y tormentas pueden dañar edificios, equipos médicos y redes críticas, además de interrumpir el suministro eléctrico, el acceso al agua y las vías de transporte sanitario, dificultando la continuidad de la atención. El Observatorio Europeo sobre Clima y Salud también dispone de información sobre los hospitales en zonas consideradas en riesgo potencial de inundación[10]: La Rioja es la comunidad autónoma con un porcentaje mayor de hospitales en zonas de riesgo (28 %), seguida de Aragón (17 %), Asturias (14 %), País Vasco (12 %). Estos peligros se traducen en una presión adicional sobre los sistemas de salud, que deben afrontar tanto un aumento de la demanda de servicios por la mayor morbilidad asociada a los eventos extremos, como el reto de adaptar su infraestructura, organización y recursos humanos a un entorno climático más exigente (AAE, 2024).

[9] Acceso al visor del Observatorio Europeo sobre Clima y Salud: https://portal.discomap.eea.europa.eu/arcgis/apps/experiencebuilder/experience/?draft=true&id=4bf0f82c02c54ce7b4e6b8d6259a258a&page=Introduction

[10] Exposición de hospitales a inundaciones: https://portal.discomap.eea.europa.eu/arcgis/apps/experiencebuilder/experience/?draft=true&id=4bf0f82c02c54ce7b4e6b8d6259a258a&page=Social-infrastructure---floods- %28NUTS2 %29

El cambio climático creará también nuevas exigencias para el personal sanitario, que requerirá formación adicional en áreas como la salud medioambiental, la gestión de catástrofes y el tratamiento de enfermedades sensibles al clima (Viegas *et al.*, 2023). Es posible que los sistemas sanitarios necesiten más personal para hacer frente a estos nuevos retos, lo que aumentará los costes de personal y la necesidad de programas de formación especializados.

Se prevé que la mayoría de los riesgos aumenten con cada unidad adicional de calentamiento, por lo que será necesario actualizar y adaptar las políticas y programas existentes para prevenir y gestionar los riesgos de cambio climático, incluido el desarrollo de nuevos programas para abordar enfermedades emergentes (Ebi y Hess, 2020).

Riesgo de incremento de la duración y gravedad de las enfermedades alérgicas como el asma, la rinitis, las conjuntivitis alérgicas o algunas dermatitis por cambios en las variables climáticas.

El aumento de la temperatura, los cambios en los patrones climáticos y el incremento del CO_2 atmosférico están dando lugar a cambios en la distribución geográfica, la alergenicidad y la fenología de las plantas productoras de polen. Se ha observado que las estaciones polínicas empiezan antes y terminan más tarde, y éstas son más intensas, con mayor producción y, en ocasiones, una mayor capacidad alergénica. También se espera que una mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos, como las inundaciones, contribuya a la proliferación de mohos y eventos de asma por tormenta, durante episodios convectivos (Burbank, 2025; D'Amato *et al.*, 2020). Aunque los factores no climáticos, como el aumento de la urbanización o la contaminación atmosférica, son también críticos como desencadenantes de las alergias (Bednar-Friedl *et al.*, 2022; D'Amato *et al.*, 2016), el cambio climático contribuirá a agravar las enfermedades alérgicas que actualmente afectan al menos al 40 % de la población europea (van Daalen *et al.*, 2024).

En España, las series aerobiológicas de la península ibérica muestran variaciones en la intensidad de floración y diferencias espaciales en la distribución del polen durante las dos últimas décadas, aunque en la mayoría de las especies se observa un aumento del índice polínico anual en el tiempo. La tendencia es más significativa en las zonas noroccidentales y allí donde abundan determinadas especies, ya sea como plantas ornamentales o como cultivos (Galán *et al.*, 2016).

La Tabla 1 resume el listado de riesgos relevantes identificados, así como las principales fuentes que han servido para su identificación.

Tabla 1. Listado de riesgos relevantes en el sector de la salud.

	Id.	Riesgo relevante	Riesgo clave
Riesgos relacionados con el calor extremo	RR1.1	Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables	RC1.1
	RR1.2	Riesgo de reducción del confort térmico en viviendas y en el espacio público como consecuencia del aumento de las temperaturas	
	RR1.3	Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas	RC1.2
Riesgos asociados a otros eventos meteorológicos extremos	RR1.7	Riesgo de aumento de los daños directos e indirectos sobre la salud de las personas como consecuencia de eventos meteorológicos y climáticos extremos	
	RR1.8	Riesgo de afección a la salud mental de las personas, como resultado de eventos meteorológicos y climáticos extremos	
Riesgos relacionados con enfermedades infecciosas	RR1.4	Riesgo de aumento de enfermedades zoonóticas/vectoriales transmitidas por mosquitos como consecuencia de cambios en las variables climáticas	
	RR1.6	Riesgo de incremento de enfermedades derivadas del aumento de los patógenos en el agua o los alimentos por cambios en las variables climáticas	
Otros riesgos relacionados con la salud	RR1.10	Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico del incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura.	RC1.3
	RR1.9	Riesgo de aumento de la presión sobre el sistema público de salud inducida por el cambio climático	
	RR1.5	Riesgo de incremento de la duración y gravedad de las enfermedades alérgicas como el asma, la rinitis, las conjuntivitis alérgicas o algunas dermatitis por cambios en las variables climáticas	

4. Riesgos clave

Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden reflejarse en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector de la salud, los diez riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts y Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector de la salud y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el AMC. Tras la aplicación del AMC se obtuvo un listado de tres riesgos clave:

- RR1.1. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (RC1.1).

- RR1.3. Riesgo de aumento de la morbimortalidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas (RC1.2).

- RR1.10. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura (RC1.3).

Otros riesgos significativos, no considerados clave, pero que requieren un seguimiento activo son:

- RR1.2. Riesgo de reducción del confort térmico en viviendas y en el espacio público como consecuencia del aumento de las temperaturas.

- RR1.7. Riesgo de aumento de los daños directos e indirectos sobre la salud de las personas como consecuencia de eventos meteorológicos y climáticos extremos.

- RR1.9. Riesgo de aumento de la presión sobre el sistema público de salud inducida por el cambio climático.

- RR1.5 Riesgo de incremento de la duración y gravedad de las enfermedades alérgicas como el asma, la rinitis, las conjuntivitis alérgicas o alguna dermatitis por cambios en las variables climáticas.

A continuación, se describen en detalle los riesgos clave identificados.

4.1. RC1.1. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables

Diversos factores contribuyen a considerar el aumento de la mortalidad y morbilidad atribuible al calor como un riesgo clave en relación con la salud de las personas. En primer lugar, se trata de un riesgo que afecta a todo el territorio, con incidencia directa sobre la población, especialmente sobre colectivos vulnerables. El impacto derivado en términos de mortalidad y morbilidad es evidente ya en la actualidad, cuando se superan determinados umbrales de temperatura (Linares *et al.*, 2024).

La **Figura 2** ilustra la cadena de impactos de este riesgo clave. El análisis de sus componentes permite comprender cómo los peligros, al interactuar con factores de exposición, vulnerabilidad y condicionantes estructurales, se traducen en impactos con repercusiones tanto sanitarias como socioeconómicas.

Los principales **peligros** para la salud son el aumento de las temperaturas y el calor extremo, que se manifiestan a través de olas de calor más frecuentes, intensas y prolongadas. Los efectos del calor sobre la morbilidad están bien establecidos, aunque existen otros factores que pueden contribuir a aumentar el riesgo, como la humedad relativa, que intensifica la sensación térmica y la capacidad del cuerpo para regular su temperatura, o las temperaturas nocturnas elevadas, que impiden la recuperación fisiológica tras el estrés térmico diurno. La interacción con otros factores antropogénicos, como la contaminación atmosférica, amplifica los efectos adversos sobre la salud, como se describe en la sección 4.2 (Achebak *et al.*, 2024; Ebi *et al.*, 2021a).

La **exposición** viene determinada por la población que se encuentra sujeta a condiciones ambientales de calor extremo. En primer lugar, destacan las áreas urbanas densamente pobladas, donde el efecto isla de calor urbano intensifica el peligro (Heaviside *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2020). La creciente urbanización y la artificialización del suelo agravan esta exposición al reducir la presencia de zonas verdes que actúan como reguladores microclimáticos (Fernandez Milan y Creutzig, 2015; Salmond *et al.*, 2016). También son relevantes las características de la ocupación laboral:

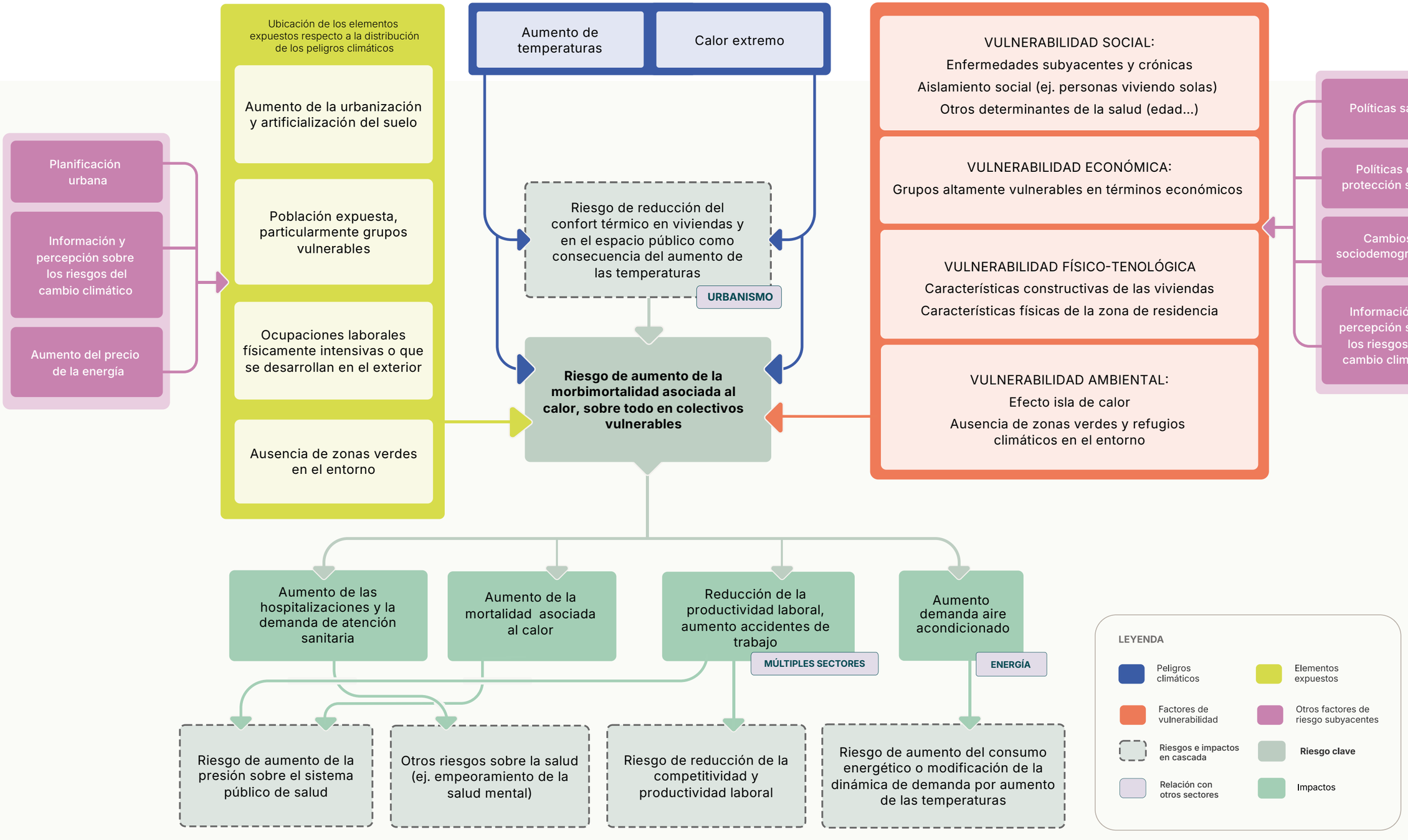


Figura 2. Cadena de impacto. RC1.1. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables.

las personas que desarrollan actividades físicamente intensivas o al aire libre (construcción, agricultura, transporte, servicios de limpieza, etc.) se encuentran entre los colectivos más expuestos (ver sección 4.3). A ello se suma la exposición residencial, que se ve agravada por la existencia de viviendas con baja eficiencia energética y por la falta de acceso a sistemas de refrigeración (Torrego-Gómez *et al.*, 2024).

La **vulnerabilidad** frente al calor extremo está condicionada por una combinación de factores sanitarios, económicos, sociales y ambientales. Desde la perspectiva de la salud, los grupos más sensibles son las personas mayores, los niños pequeños y quienes padecen enfermedades crónicas o subyacentes, especialmente cardiovasculares, respiratorias o renales (Achebak *et al.*, 2024). También las personas con problemas de salud mental se encuentran en una situación de especial riesgo, ya que el calor puede agravar sus síntomas o dificultar la adopción de medidas preventivas (Thompson *et al.*, 2018).

En el plano económico, los hogares con bajos ingresos o en situación de pobreza energética tienen una capacidad de adaptación muy limitada y se ven afectados de forma desproporcionada (Chakraborty *et al.*, 2019). La falta de recursos para costear aire acondicionado, mantener una vivienda bien aislada o desplazarse a espacios más frescos convierte a estos hogares en más vulnerables (Torrego-Gómez *et al.*, 2024). A esta situación debemos sumar factores de vulnerabilidad social que agravan el riesgo de sufrir consecuencias adversas, como las situaciones de aislamiento de personas mayores que viven solas (Lara-García *et al.*, 2024), la falta de redes de apoyo comunitario e infraestructuras de refugio inclusivas (Amorim-Maia *et al.*, 2023) o las desigualdades de género, que asignan a menudo a las mujeres un mayor peso en tareas de cuidado bajo condiciones de calor (Torrego-Gómez *et al.*, 2024).

Por último, la vulnerabilidad ambiental se manifiesta en las características del entorno construido. La residencia en barrios densamente urbanizados, con escasas zonas verdes y altas concentraciones de contaminación atmosférica, intensifica la exposición al calor y reduce la capacidad de recuperación (Chiabai *et al.*, 2020). A esto se suma la eficacia de los sistemas institucionales de prevención y respuesta, la existencia de planes de alerta temprana, de refugios climáticos accesibles y de servicios de salud preparados para picos de demanda, que determinan el nivel de riesgo (Amorim-Maia *et al.*, 2023).

Existen otros **riesgos subyacentes** que sostienen o intensifican el riesgo, como la planificación urbana y el diseño de viviendas (Fernandez Milan y Creutzig, 2015) y los cambios sociodemográficos, como el envejecimiento de la población, que incrementa la proporción de personas vulnerables (Park *et al.*, 2020; Rohat *et al.*, 2019). Otro factor subyacente es la creciente dependencia de sistemas de aire acondicionado, que, si bien mitigan el riesgo individual, incrementan el consumo

energético, elevan los costes para las familias y pueden contribuir a reforzar las desigualdades entre quienes pueden permitirse esta solución y quienes no (De Cian *et al.*, 2019; Falchetta *et al.*, 2024). La información y la percepción sobre el riesgo que supone la exposición al calor en un contexto de cambio climático, también se consideran un factor que condiciona tanto la exposición como la capacidad de respuesta de las personas (Hass *et al.*, 2021; Madrigano *et al.*, 2018).

El **impacto** más inmediato es el aumento de la morbimortalidad asociada al calor, con especial incidencia en los colectivos vulnerables. España cuenta con un sistema de monitorización de la mortalidad diaria[11] que permite identificar las desviaciones de mortalidad atribuibles al exceso de temperatura. Se calcula diariamente a varias escalas geográficas (provincia, comunidad autónoma y nacional), teniendo en cuenta también el sexo y la edad. Entre 2015 y 2024, se estima que la mortalidad atribuible al exceso de calor superó 24.000 personas. En 2022 y 2023, que tal y como se ha mencionado anteriormente, registraron temperaturas récord en el Mediterráneo occidental, el exceso de mortalidad atribuible al calor fue de 4.790 y 3.255 personas, respectivamente. Recientemente, se ha actualizado el análisis de determinación de los umbrales de temperatura a partir de los cuales se dispara la mortalidad por olas de calor, teniendo en cuenta las regiones isoclimáticas en España (Linares *et al.*, 2024). A partir de este estudio, el Ministerio de Sanidad ha impulsado, en coordinación con AEMET y bajo la denominación "Meteosalud", un sistema de avisos que informa sobre los riesgos para la salud en episodios de altas temperaturas[12]. Estos avisos difieren de los establecidos bajo la denominación "Meteoalerta" en cuyo marco las olas de calor se definen por percentiles.

Los valores de mortalidad atribuible al calor obtenidos por el sistema MoMo son muy inferiores a otras estimaciones para el mismo periodo. En el periodo 1991-2020, un estudio realizado a escala urbana en más de 1.300 ciudades europeas, entre ellas 98 españolas, se obtuvo una mortalidad atribuible al calor de 4.414 (IC95 %: 4.172–4.573) personas por año (García-León *et al.*, 2024). Ballester *et al.* (2023) estiman que, en el verano de 2022, la mortalidad atribuible al calor en España pudo superar la cifra de 11.324 (IC95 %: 7.908–14.880) personas. Estas diferencias se deben a diferencias metodológicas de los estudios. El sistema MoMo calcula la mortalidad atribuible al exceso de calor utilizando umbrales definidos como la temperatura a partir de la cual se da un aumento significativo de mortalidad (temperatura de disparo de la mortalidad). En cambio, estudios como el de Ballester *et al.* (2023) estiman la mortalidad relacionada con el calor considerando las temperaturas por encima de la temperatura de mínima mortalidad, lo que implica que se incorporan

[11] Sistema de monitorizacion de la mortalidad diaria (MoMo) del Instituto de Salud Carlos III: https://momo.isciii.es/panel_momo/#section-momo

[12] Portal público Meteosalud: https://www.sanidad.gob.es/excesoTemperaturas2025/meteosalud.do

tanto los días moderadamente cálidos como los extremos. Esto da lugar a cifras más elevadas de mortalidad atribuible al calor, puesto que no se limita a los episodios más intensos, sino que incluye el impacto acumulado diario por encima de la temperatura de mínima mortalidad.

En un contexto de cambio climático, Díaz *et al.* (2019) estiman en el periodo 2021-2050 y en un escenario climático desfavorable[13] sin adaptación, la mortalidad atribuible al exceso de calor de 12.900 personas al año, que se concentraría en Alicante, Zaragoza, Madrid, Bizkaia y Sevilla, y, a partir de 2050, Barcelona. Sin embargo, si se produjeran procesos de adaptación, la mortalidad en la segunda mitad de siglo podría reducirse a 1.000 personas al año, y solo Madrid seguiría mostrando un riesgo destacable. Loroño *et al.* (2025) estimaron el coste económico asociado a la mortalidad atribuible al calor en Europa utilizando el valor de una vida estadística[14]. En España, en el año 2030 y considerando un escenario de bajas emisiones (SSP1-2.6), este coste podría alcanzar un valor medio de 25.789 (18.421-35.614)[15] millones de euros. En 2050, el impacto económico de la mortalidad podría más que duplicarse, alcanzando 65.800 (44.649-86.949) millones de euros en el mismo escenario optimista (SSP1-2.6). Los datos son similares en escenarios de emisiones mayores (SSP2-4.5, SSP3-7.0) en 2030 y 2050 pero divergen sustancialmente a largo plazo (2060-2079).

Aunque la literatura se ha centrado en gran medida en analizar el efecto de la temperatura sobre la mortalidad, el impacto sobre la morbilidad puede ser también relevante. El impacto del calor extremo puede relacionarse también con un aumento de ingresos hospitalarios (Liss y Naumova, 2019; López-Bueno *et al.*, 2023). Los principales efectos sobre la morbilidad incluyen enfermedades cardiovasculares, respiratorias, renales (Bednar-Friedl *et al.*, 2022), salud mental (Thompson *et al.*, 2018), estrés térmico, problemas metabólicos, enfermedades infecciosas y empeoramiento de enfermedades previas (Schulte *et al.*, 2021), incluidas las alergias (D'Amato *et al.*, 2016).

En Francia, Adélaïde *et al.* (2022) analizaron los efectos de las olas de calor sobre la salud en el periodo 2015-2019. Su análisis muestra que, de media, el incremento de las visitas a emergencias superó en un 15 % las cifras de mortalidad durante las olas de calor, aunque los ingresos hospitalarios se dieron en menor proporción, puesto que representaron el 57 % de los casos de mortalidad.

---

[13] El estudio utiliza el escenario RCP8.5 que, tal y como se ha mostrado en la metodología, se corresponde con un nivel de calentamiento de 1,1 – 2,6 en 2021-2040.

[14] El valor de una vida estadística se basa en la disposición a pagar de la sociedad por reducir el riesgo de muerte, asignando un valor monetario independientemente de la edad en que ocurre el fallecimiento o la esperanza de vida (Chiabai *et al.*, 2018). Loroño *et al.* (2025) utilizan un valor de 1.38 millones de euros (2017) como valor de una vida estadística en Europa, basado en Szewczyk *et al.* (2018).

[15] La estimación de costes se ha realizado considerando un valor medio de temperatura y el valor de los percentiles 10 y 90. Así, estos tres valores representan un análisis de sensibilidad climática, y no deben interpretarse como intervalos de confianza estadísticos.

En Madrid, Díaz *et al*. (2018) calcularon que el número de hospitalizaciones atribuibles a las olas de calor superó 1.200 ingresos (6,4 ingresos (IC95 %: 1,4-10,8) por día de ola de calor en el periodo 2001-2009, lo que indica que puede convertirse en un problema relevante para el sistema de salud madrileño. Markandya *et al*. (2025) estiman que, en España, ya en 2030, podrían sobrepasarse las 14.000 visitas anuales a emergencias por causas relacionadas con el aumento de la temperatura en un escenario de bajas emisiones (SSP1-2.6), cifra que superaría 15.000 visitas en un escenario de altas emisiones (SSP5-8.5). Las hospitalizaciones atribuibles al calor podrían superar cifras de 7.400 y 8.166, en un escenario de bajas y altas emisiones, respectivamente. El coste médico de este aumento de las hospitalizaciones atribuibles al calor extremo se estima en más de 17 millones de euros anuales (Markandya *et al*., 2025).

El calor también afecta a las personas trabajadoras y genera pérdidas de productividad laboral, pero este riesgo se aborda en la sección 4.3. Por último, el incremento del consumo energético asociado al aire acondicionado repercute en el gasto de los hogares y en el aumento de la demanda eléctrica durante el verano, lo que genera efectos en cascada sobre otros sectores y amplifica desigualdades sociales.

Ficha 1. Análisis del riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Catastrófica	Catastrófica
	A pesar de que se están dando procesos de adaptación, las olas de calor de 2022 dejaron un exceso de mortalidad de entre 4.500 (MoMo) y 11.000 personas en España (Ballester *et al.*, 2023). En cuanto a la morbilidad, los impactos son menores que en el caso de la mortalidad atribuible al calor, pero el riesgo actualmente se considera alto (Díaz *et al.*, 2018).	Se estima que la mortalidad media atribuible podría superar 7.500 (6819-8937) muertes anuales (García-León *et al.*, 2024).	El exceso de mortalidad por calor extremo podría superar 10.635 (9.643-12.890) muertes anuales (García-León *et al.*, 2024).	Con un calentamiento global de 4 °C la mortalidad media atribuible al calor podría alcanzar 36.000 (29.213-40.987) personas anuales en todo el territorio (García-León *et al.*, 2024).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alto · Alto	· Alto · Alto	· Alto · Alto	· Alto · Alto
	Datos contrastados por numerosos estudios académicos revisados. Metodologías contrastadas y con estimaciones cuantitativas actualizadas. Cobertura alta para todo el territorio en mortalidad, pero los estudios de morbilidad son más limitados.	Datos contrastados por numerosos estudios académicos revisados. Metodologías contrastadas y con estimaciones cuantitativas actualizadas. Cobertura alta para todo el territorio en mortalidad, pero los estudios de morbilidad son más limitados.	Datos contrastados por numerosos estudios académicos revisados. Metodologías contrastadas y con estimaciones cuantitativas actualizadas. Cobertura alta para todo el territorio en mortalidad, pero los estudios de morbilidad son más limitados.	Datos contrastados aunque menor número de estudios para escenarios catastróficos. Metodologías contrastadas y con estimaciones cuantitativas actualizadas. Cobertura alta para todo el territorio en mortalidad, pero los estudios de morbilidad son más limitados.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Aumento de la temperatura. • Calor extremo.	El elemento expuesto son las personas. La exposición puede venir determinada por el desarrollo de actividades al aire libre, o la falta de confort térmico (en interiores y en el exterior), incluyendo el efecto isla de calor.	Son especialmente vulnerables: • Personas con enfermedades previas. • Personas mayores de 65 años y menores de 1 año. Otros factores que contribuyen a la vulnerabilidad son: • Pobreza y familias de renta baja, que pueden dar lugar a una baja capacidad adaptativa. • Aislamiento social. • Viviendas con características constructivas no adecuadas para hacer frente al calor.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	N/A
Territoriales	El riesgo de mortalidad por calor afecta a todo el territorio de España, aunque lo hace de forma diferenciada puesto que la temperatura umbral a partir de cual se da un aumento estadísticamente significativo de la mortalidad varía en función de las regiones climáticas (Linares *et al.*, 2024). Sin adaptación, las zonas más afectadas serán la zona centro, la costa levantina, Bizkaia en el norte y Sevilla en el sur (Díaz *et al.*, 2019; García-León *et al.*, 2024). Martínez-Solanas *et al.* (2019) analizaron las hospitalizaciones relacionadas con las altas temperaturas[16] en todas las provincias entre 1997-2003 y concluyeron que el calor tuvo un impacto adverso en los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias. En cualquier caso, teniendo en cuenta que las componentes del riesgo se extienden a todo el territorio, es razonable asumir que el riesgo de aumento de ingresos hospitalarios por calor afecta también de forma general al conjunto del estado.
Sociales	La existencia de enfermedades previas es uno de los principales elementos de vulnerabilidad ante el calor, junto con la edad (Navas-Martín *et al.*, 2023b). La situación económica de las familias es un componente clave de la vulnerabilidad social: las personas de rentas bajas, en situación de pobreza o la exclusión social son más vulnerables ante el calor extremo. Lo son también las personas residentes en barrios con viviendas peor adaptadas al calor (López-Bueno *et al.*, 2020). El aislamiento social también aumenta la vulnerabilidad, y en España existen 4.9 millones de hogares unifamiliares, el 44 % de las cuales corresponde a personas de más de 65 años, la mayoría (71%), mujeres (INE, 2020). En cuanto a la morbilidad, Salvador *et al.* (2023) encontraron que, en Madrid, los hombres adultos y las poblaciones desfavorecidas tienen un riesgo mayor de sufrir eventos cardiovasculares atribuibles al calor.
Maladaptación	El uso del aire acondicionado, aunque representa una forma de adaptación al estrés térmico, puede convertirse en una medida de maladaptación si se plantea como una solución exclusiva que cierre la puerta o limite estrategias más eficientes y sostenibles, como el rediseño del espacio público, la mejora de las infraestructuras verdes o la planificación urbana orientada a reducir el efecto isla de calor. Existen diversas estrategias que pueden implementarse a nivel nacional para prevenir situaciones de maladaptación (ver, por ejemplo, Juhola y Käyhkö, 2023). Sin embargo, es importante tener en cuenta que se trata de un concepto complejo. Schipper (2022) conceptualiza la maladaptación como aquella medida de adaptación o mitigación que aumenta la vulnerabilidad. Así, medidas como la limitación del tráfico, la peatonalización de vías o el desarrollo y expansión de zonas verdes que generan beneficios sobre la salud, deben diseñarse de tal forma que se eviten procesos de gentrificación que acentúen las desigualdades y, con ello, la vulnerabilidad (Planas-Carbonell *et al.*, 2023).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[16] Martínez-Solanas *et al.* (2019) también analizan el efecto de las bajas temperaturas. Por ejemplo, el impacto de las enfermedades cardiovasculares es mayor en el caso de las bajas temperaturas que el calor. Sin embargo, se espera que con el cambio climático los impactos de las bajas temperaturas se reduzcan.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Género	Las evidencias apuntan a que las mujeres son más vulnerables al calor que los hombres (Yu *et al.*, 2010), sin embargo, en España éstas se han adaptado mejor durante las últimas dos décadas (Navas-Martín *et al.*, 2022a). Torrego-Gómez *et al.* (2024) encuentran el género como factor de vulnerabilidad frente al calor y procesos de "feminización de la pobreza energética de verano". En relación con la morbilidad atribuible al calor, no se han encontrado evidencias claras. Hay estudios en la literatura que encuentran una mayor incidencia en mujeres (Díaz *et al.*, 2018), y viceversa (Salvador *et al.*, 2023).
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Existen umbrales de temperatura a partir de los que aumenta la mortalidad, que difieren en función de las regiones climáticas. Por ejemplo, en el litoral asturiano la temperatura umbral estimada es de 23,9 °C, mientras en la campiña cordobesa es de 40,4 °C. En contextos de ola de calor, estos umbrales se superan ya en la actualidad (Linares *et al.*, 2024). El cambio climático y el aumento de temperaturas asociado aumentará la mortalidad atribuible (p. Ej. García-León *et al.*, 2024). No obstante, existen procesos de adaptación que están contribuyendo ya a reducir la mortalidad (Navas-Martín *et al.*, 2023a).
Lock-in/Bloqueo	El diseño de las ciudades puede ser una fuente potencial de bloqueo. Las personas pueden adoptar medidas de adaptación individuales, incluso puede haber medidas colectivas dirigidas a mejorar el bienestar y la salud de las personas, pero será necesario abordar también cambios en el diseño de las ciudades (Proust *et al.*, 2012). Desde una perspectiva más amplia, el legado institucional puede representar una barrera para avanzar en materia de adaptación[17] (Groen *et al.*, 2023). En el caso de la morbilidad asociada al calor, una financiación insuficiente de los sistemas de salud también puede ser un factor de bloqueo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[17] Según Groen *et al.* (2023), el "legado institucional", representa las elecciones institucionales previas que pueden crear compromisos normativos que determinen condiciones en el futuro. En este caso, este legado puede reducir la viabilidad del cambio.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Existen medidas de adaptación públicas orientadas a reducir el riesgo de las temperaturas extremas sobre la salud, integradas en distintos instrumentos de planificación a nivel estatal: PNACC 2021-2030: • Integración del cambio climático en el Plan Nacional de Salud y Medio Ambiente (Línea 2.1). • Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud (Línea 2.2). Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente 2021: • Mejorar y actualizar al contexto de cambio climático el Plan Nacional de actuaciones preventivas de los efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud. • Formar a los agentes y profesionales de la salud en las acciones para detectar riesgos y vulnerabilidades de forma temprana. • Mejorar la comunicación a colectivos vulnerables. • Caracterizar y evaluar las Regiones Isotérmicas y alertas unificadas y actualizar las temperaturas umbrales consecuentemente. • Seguimiento y evaluación del impacto de los planes de prevención. Establecer un sistema de indicadores. Plan Nacional de actuaciones preventivas de los efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud: • El Plan se ha actualizado anualmente en el periodo 2021-2024. • El plan recoge medidas de vigilancia de la salud y ambiental, actuaciones preventivas para diferentes niveles de riesgo, así como medidas de comunicación e información a la población, grupos de mayor riesgo, profesionales de la sanidad y servicios sociales. • En 2023, bajo el nombre Meteosalud, se puso en marcha un nuevo sistema de avisos (alerta temprana) focalizado en los episodios de calor peligrosos desde la perspectiva de la salud. Las CCAA cuentan también con estrategias y planes de prevención del calor propios.
Gobernanza de gestión del riesgo	La gobernanza del riesgo del calor extremo es compleja. La planificación recae tanto en el estado como en las CCAA, al ser la competencia de salud compartida. En cuanto a los planes de prevención de los impactos de las temperaturas extremas, éstos incluyen a responsables de salud, pero también de los servicios sociales, tanto a nivel estatal como autonómico y local. La gestión urbana también debe jugar un papel en la gestión de riesgos relacionados con la salud (Sheehan *et al.*, 2022).
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Existen evidencias de que las medidas de adaptación pueden reducir la mortalidad, como por ejemplo en el caso de los sistemas de alerta temprana (Toloo *et al.*, 2013), el aire acondicionado (Sera *et al.*, 2020), la existencia de refugios climáticos (Berisha *et al.*, 2017; Meade *et al.*, 2023), la existencia de zonas verdes en entornos urbanos (Chiabai *et al.*, 2020; García de Jalón *et al.*, 2020). También hay estudios sobre la existencia de procesos de adaptación fisiológica (López-Bueno *et al.*, 2021; Navas-Martín *et al.*, 2023b).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Algunos procesos de maladaptación, por ejemplo, aquellos que conllevan un mayor consumo eléctrico, pueden tener efecto sobre los objetivos de mitigación. Por ejemplo, el uso de aire acondicionado puede contribuir al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero mientras persista una alta dependencia de los combustibles fósiles en el sistema eléctrico. No obstante, este impacto se reducirá progresivamente a medida que avance la transición energética y se incremente la participación de fuentes renovables en la generación eléctrica.
Déficits de información	El riesgo de aumento de la mortalidad debido al calor extremo es uno de los más estudiados por la literatura académica, también en España. Por su parte, el riesgo de aumento de la morbilidad no está suficientemente estudiado en la literatura académica. En general, existen déficits de información en relación con los siguientes elementos: • Disponibilidad de datos a escala regional y local, sobre todo en relación con la morbilidad. • Vulnerabilidad interseccional: los estudios suelen centrarse en factores de vulnerabilidad únicos y son poco frecuentes los que abordan la interacción entre múltiples factores. • Interacción de múltiples peligros. • El papel de la percepción del riesgo, las preferencias de adaptación y las prácticas culturales o de comportamiento. • La efectividad de las diversas medidas de adaptación, especialmente en cuanto a la morbilidad.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere un seguimiento periódico. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.2. RC1.2. Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas

El cambio climático, especialmente a través del estrés térmico, afectará a la salud de las personas trabajadoras, aumentando también el riesgo de lesiones accidentales (Vielma *et al.*, 2024). Además, estos efectos sobre la población trabajadora se encuentran entre los factores más importantes de los costes económicos totales del cambio climático, ya que se espera que los posibles efectos sobre la población activa reducirán la actividad económica y la capacidad de crecimiento económico (Dasgupta *et al.*, 2021).

La **Figura 3** recoge la cadena de riesgo vinculada al riesgo de aumento de la morbimortalidad de las personas trabajadoras como consecuencia del empeoramiento de las condiciones climáticas. Se trata de un riesgo complejo que surge de la interacción entre el incremento de temperaturas y la intensificación de episodios de calor extremo con factores de exposición laboral, vulnerabilidades individuales y colectivas, y determinantes estructurales del entorno productivo y urbano. Esta complejidad ha dado lugar a que no se hayan encontrado estimaciones de mortalidad y morbilidad de la población trabajadora atribuible al calor extremo bajo diferentes escenarios de cambio climático, por lo que se ha recurrido al uso de indicadores indirectos de su efecto sobre el trabajo, como la reducción en el número de horas trabajadas, la productividad laboral y a la capacidad laboral. El impacto del calor extremo, por tanto, tiene implicaciones para la salud general y laboral, la producción económica, el absentismo y los derechos laborales (Dasgupta y Robinson, 2023).

Al igual que en el riesgo clave anterior, el punto de partida de este riesgo lo constituyen las variables climáticas relacionadas con el calor: el aumento de temperaturas y los episodios de calor extremo. La **exposición** se define por el grado en que la población trabajadora se encuentra en contacto con estas condiciones adversas. Los empleos físicamente exigentes y al aire libre (agricultura, construcción, transporte, limpieza viaria o ciertos servicios de mantenimiento) se sitúan en primera línea, dado que la actividad física intensifica el estrés térmico. También influyen las condiciones laborales, desde la disponibilidad de equipos de protección individual adecuados hasta la organización de los horarios de trabajo (por ejemplo, turnos en horas de menor calor) (Casanueva *et al.*, 2020; Szewczyk *et al.*, 2021). Al igual que en el riesgo anterior, el aumento de la urbanización y la artificialización del suelo en el ámbito urbano reduce la presencia de zonas verdes y multiplica las superficies que absorben y reemiten calor (Heaviside *et al.*, 2017), creando entornos laborales más hostiles. Así, tanto el lugar de trabajo (campo, ciudad, nave industrial) como el sector productivo determinan de manera decisiva el grado de exposición.

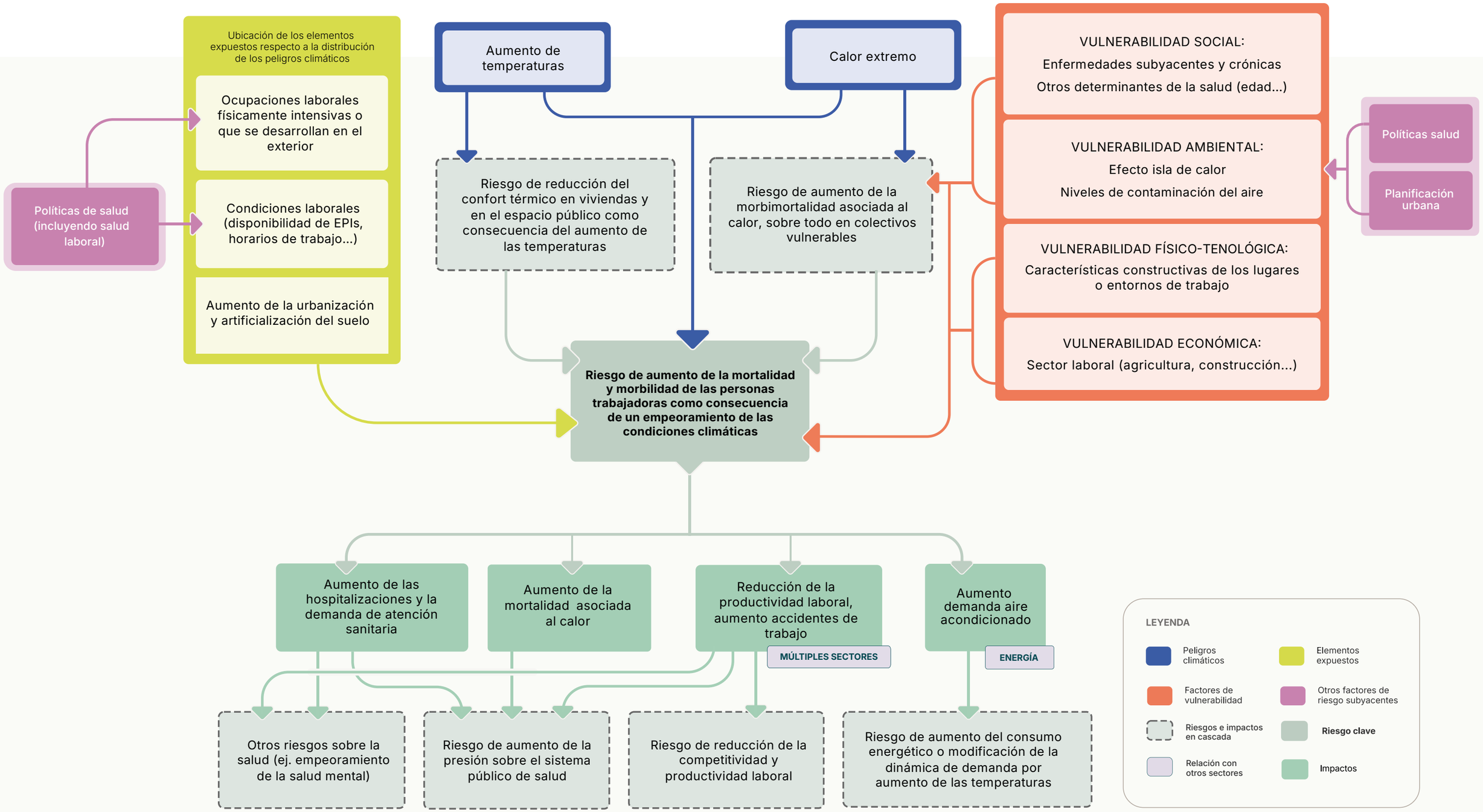


Figura 3. Cadena de impacto. RC1.2. Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas.

La **vulnerabilidad** de las personas trabajadoras frente al calor depende, en primer lugar, de la situación de salud de partida, de forma que el riesgo será mayor para aquellas personas que presentan enfermedades crónicas o subyacentes (cardiovasculares, respiratorias, metabólicas). En el plano laboral y económico, la vulnerabilidad aumenta en situaciones de precariedad: contratos temporales, salarios bajos o ausencia de derechos laborales efectivos reducen la capacidad para reclamar condiciones seguras o rechazar tareas en circunstancias peligrosas. La falta de acceso a aire acondicionado en el hogar, ligada a la pobreza energética, puede además impedir una adecuada recuperación tras la jornada laboral. Trabajar en entornos con altas temperaturas, ausencia de sombra y niveles elevados de contaminación del aire multiplica los riesgos. Las características constructivas de los lugares de trabajo (aislamiento y ventilación insuficientes, ausencia de medidas de climatización) pueden también agravar el riesgo. Por último, la vulnerabilidad también se vincula con la eficacia de las políticas de salud y de prevención laboral. La existencia de planes de prevención, protocolos de emergencia, campañas de concienciación y sistemas de alerta temprana puede reducir significativamente los efectos del calor, siempre y cuando estén adaptados a la realidad de los distintos sectores y perfiles de trabajadores (Narocki, 2021).

El riesgo se ve también intensificado por **factores subyacentes**, principalmente relacionados con la planificación pública en materia de salud y salud laboral. Narocki (2021) subraya la importancia de disponer de planes de adaptación específicos que aborden los riesgos del calor sobre la población trabajadora y advierte de que los países europeos aún no estaban avanzando lo suficiente. España cuenta con una Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo (EESST) 2023-2027 desde marzo de 2023, que incluye en su segundo objetivo la necesidad de incorporar el cambio climático en las políticas de prevención de riesgos laborales, e incorpora medidas específicas que incluyen acciones como la adaptación del marco normativo, la necesidad de fomentar la investigación, o la vigilancia y el control [18].

En relación con los **impactos** esperados, hemos visto que la evidencia sobre mortalidad y, en menor medida, morbilidad atribuibles al calor es muy amplia. Sin embargo, en el ámbito laboral los estudios se han centrado sobre todo en resultados de trabajo (oferta, productividad y capacidad) (p. ej., Dasgupta *et al.*, 2021).

Szewczyk *et al.* (2021) estudian el impacto del calor sobre la productividad de las personas trabajadoras en Europa, en función del tipo de trabajo y de la intensidad física del mismo en un escenario de emisiones altas (RCP8.5). Sus resultados muestran una mayor pérdida de productividad en países del sur de Europa: en España, y otros países mediterráneos como Francia, Italia, Croacia y Grecia, las pérdidas de productividad podrían llegar, de media, al 3 % en 2080 y, en

[18] Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo (EESST) 2023-2027, accesible en: https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/estrategia-espa %C3 %B1ola-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-2023-2027

el peor de los casos, al 8 %. Las consecuencias económicas para España podrían ser alrededor del 2 % de su PIB en 2080 (entre el 3 % y el 5 % en el peor caso).

En cuanto a las horas trabajadas, estas podrían reducirse un 15 % a finales del siglo, también en un escenario de altas emisiones (RCP8.5). Sin embargo, en algunos municipios de España, Italia, Grecia y Chipre esta pérdida de horas de trabajo podría superar el 50 % (Casanueva *et al*., 2020).

Además, el calor disminuye la capacidad de concentración y resistencia física, y aumenta la probabilidad de accidentes de trabajo, con repercusiones directas en la competitividad de sectores intensivos en mano de obra. En el periodo entre 1994 y 2013, se estima que el 2,4 % (IC95 %: 2,09–2,68) de todas las lesiones laborales se atribuyeron a temperaturas ambientales no óptimas, debido al calor. Esta cifra corresponde a 36 días de baja laboral por cada 1.000 trabajadores. La carga económica anual estimada es de 320 millones, o el 0,03 % del PIB de España en 2015 (Martínez-Solanas *et al*., 2018).

Por último, cabe mencionar que también puede esperarse un aumento de la demanda de aire acondicionado en los lugares de trabajo, lo que puede traducirse en mayores costes para las empresas, en desigualdades entre trabajadores con acceso o no a medidas de climatización.

Ficha 2. Análisis del riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Crítica	Catastrófica	Catastrófica
	Hay evidencias de que hasta el 2,4 % de lesiones laborales (383.000) en España entre 1994-2013 son atribuibles a una temperatura ambiente no óptima debido al calor. Esto representa más de 19.000 lesiones al año durante dicho periodo (Martínez-Solanas *et al.*, 2018).	Ante la falta de estimaciones sobre los efectos del calor extremo sobre la salud de las personas trabajadoras, la literatura ha recurrido al uso de indicadores indirectos, como la productividad laboral. En el sur de España podría haber pérdidas de entorno al 1 % entre 2021 y 2040 (Szewczyk *et al.*, 2021).	Sin adaptación, el sur y este de España podría registrar pérdidas de productividad del 1-2 % del PIB a partir de 2040 (Szewczyk *et al.*, 2021).	En 2080, se estima que el efecto de las temperaturas (sin adaptación) puede generar pérdidas del 3 % de la productividad en Andalucía y Cataluña. España podría perder alrededor del 3 % de su PIB en 2080, y en un escenario más desfavorable entre 3 %–5 % (Szewczyk *et al.*, 2021).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Medio · Alto	· Medio · Medio	· Medio · Medio	· Medio · Medio
	Es una línea de investigación que está recibiendo cada vez una atención mayor. Hay estudios académicos, con estimaciones cuantitativas y metodologías contrastadas, pero aún de aplicación limitada. En general el nivel de consenso es elevado, aunque la cobertura geográfica es parcial.		La principal limitación está relacionada con un número limitado de estudios que abordan el impacto sobre la salud de las personas trabajadoras. La mayoría de las investigaciones abordan este tema desde una perspectiva de los efectos económicos en términos de reducción de la productividad laboral.	La principal limitación está relacionada con un número limitado de estudios que abordan el impacto sobre la salud de las personas trabajadoras. La mayoría de las investigaciones abordan este tema desde una perspectiva de los efectos económicos en términos de reducción de la productividad laboral.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Aumento de la temperatura. • Calor extremo. • Mayor frecuencia y duración de las olas de calor.	La exposición viene determinada fundamentalmente por: • La localización geográfica y las ocupaciones laborales que exigen trabajo físico moderado y pesado (Szewczyk *et al.*, 2021). • En relación con lesiones laborales, casi la mitad de estas se concentran en los sectores de construcción y fabricación (Martínez-Solanas *et al.*, 2018). • La agricultura y la hostelería también presentan alta exposición (Vielma *et al.*, 2024).	• La vulnerabilidad de las personas trabajadoras al estrés térmico depende del tipo de trabajo y de la intensidad física de sus ocupaciones (Szewczyk *et al.*, 2021). • Vielma *et al.* (2024) encontraron que los grupos más vulnerables a sufrir lesiones por calor en España eran hombres, menores de 35 años trabajando en los sectores de agricultura, construcción y hostelería. • Otro factor de vulnerabilidad podría ser la existencia de enfermedades previas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	N/A
Territoriales	Los riesgos sobre las personas trabajadoras se concentran en el centro y sur de España, mientras que la cornisa cantábrica y Galicia muestran una menor incidencia. En cuanto a las reducciones de productividad asociadas al calor extremo, éstas se concentran en el sur de España, aunque a partir de mediados de siglo se extienden a las zonas de Levante. En 2080 las CCAA más afectadas, con pérdidas del 3 % serían Andalucía y Cataluña (Szewczyk *et al.*, 2021). En cuanto a las lesiones laborales registradas entre 1994 y 2013, éstas se concentraron en el sur en mayor medida, aunque también afectaron a toda la zona central y levantina (Martínez-Solanas *et al.*, 2018).
Sociales	Los riesgos se concentran en personas, especialmente hombres, trabajando en sectores que requieren una cierta intensidad física, como la construcción, la agricultura, la hostelería y la fabricación. También existen evidencias del efecto de las temperaturas en el rendimiento cognitivo (Martin *et al.*, 2019).
Maladaptación	Al igual que en el primer riesgo clave, el uso del aire acondicionado, aunque representa una forma de adaptación al estrés térmico, puede convertirse en una medida de maladaptación si se plantea como una solución exclusiva que cierre la puerta o limite estrategias más eficientes y sostenibles, como el rediseño del espacio público, la mejora de las infraestructuras verdes o la planificación urbana orientada a reducir el efecto isla de calor. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la maladaptación es un concepto complejo. Según Schipper (2022), una medida de adaptación o mitigación que aumenta la vulnerabilidad puede ser considerada como maladaptación, de tal forma que, medidas como la limitación del tráfico, la peatonalización de vías o el desarrollo y expansión de zonas verdes que generan beneficios sobre la salud, deben diseñarse de tal forma que se eviten procesos de gentrificación que acentúen las desigualdades y, con ello, la vulnerabilidad (Planas-Carbonell *et al.*, 2023).
Género	Los estudios apuntan a una mayor incidencia sobre los hombres (Santurtún *et al.*, 2023; Vielma *et al.*, 2024), aunque eso también puede deberse a una mayor proporción de hombres trabajadores en los sectores más expuestos (construcción y agricultura, por ejemplo)[19].
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Szewczyk *et al.* (2021) afirman que, a mayor intensidad de actividad física, mayor es la sensibilidad del impacto. Las categorías de intensidad del trabajo físico las distinguen utilizando umbrales tomados de la literatura (p. ej. Dunne *et al.*, 2013). Foster *et al.* (2021) observaron en el Reino Unido reducciones del 10 % en la capacidad de trabajo físico en condiciones de estrés térmico leve (temperatura de bulbo húmedo de 18 °C); esta capacidad podía reducirse un 78 % en condiciones más extremas (temperatura de bulbo húmedo de 40 °C).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[19] Según datos del INE (2024), en 2023 el 75 % de las personas trabajando en el sector de la construcción eran hombres y en el sector de la agricultura esta cifra aumenta hasta el 91 %.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	Algunas medidas de adaptación pueden tener efectos limitados, especialmente en algunos sectores, como pueden ser el uso de equipos de protección individual (EPIs) o el aire acondicionado. Algunas medidas alternativas como mover el periodo de vacaciones a la época de mayor calor (Garrido-Perez *et al.*, 2023), pueden tener dificultades en la práctica. En estos casos, la regulación puede jugar un papel relevante[20].
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel estatal existe la Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2023-2027 que en su objetivo segundo busca "gestionar los cambios derivados de las nuevas formas de organización del trabajo, la evolución demográfica y el cambio climático" (INSST, 2023: p.30). Entre las líneas de actuación previstas en este objetivo están la adaptación del marco normativo para incorporar, entre otros, los riesgos del cambio climático (L1); la promoción de la investigación en este ámbito (L2); las acciones de vigilancia y control (L3); o apoyo a las empresas en la gestión de riesgos (L4). Las políticas que abordan de forma general la reducción del riesgo de las temperaturas extremas sobre la salud, también es relevante en cuanto a salud laboral se refiere, y que a nivel estatal incluye: • PNACC 2021-2030. • Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente 2021. • Plan Nacional de actuaciones preventivas de los efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud. Nótese que además hay comunidades autónomas que cuentan con estrategias y planes de seguridad laboral y de prevención del calor y de salud laboral propios.
Gobernanza de gestión del riesgo	Las funciones de prevención y vigilancia de la seguridad y la salud en el trabajo corresponden a diversos agentes públicos y privados (CNSST, 2019): • Las administraciones sanitarias: el Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social a nivel nacional y las autoridades autonómicas en la materia. • Las empresas. • Los servicios de prevención. • Los y las trabajadoras y sus representantes.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[20] Un ejemplo podría ser el Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo, que entre otras cuestiones estableció la obligación de adaptar las condiciones laborales en espacios de trabajo abiertos (exterior) ante la alerta de fenómenos meteorológicos adversos.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Vielma *et al*. (2024) observaron la disminución del riesgo de lesiones debidas al calor, así como en la fracción global y el número de lesiones atribuibles a las temperaturas, lo que interpretaron como una adaptación (aclimatación) de las personas trabajadoras a las temperaturas a lo largo del tiempo. Szewczyk *et al*. (2021) por su parte consideraron el aumento de la refrigeración de los espacios de trabajo (aire acondicionado) a corto plazo y el uso de exoesqueletos a medio y largo plazo. El estudio estimó que la adaptación podría reducir la pérdida de productividad hasta un 30 % en España, en función de las diferentes zonas geográficas. Garrido-Pérez *et al*. (2023) estimaron que podía reducirse la pérdida de productividad hasta un 25 % cambiando las vacaciones de verano de la segunda quincena de agosto a la segunda de julio, el periodo más cálido. Esta medida también presenta cobeneficios en términos de una mejora de la calidad del aire. Otras medidas de adaptación podrían ser la reducción de la jornada laboral. De hecho, algunos convenios colectivos ya prevén la reducción de la jornada en 1h durante el verano, como es el caso del convenio del sector de la construcción en Extremadura (CC.OO., 2019).
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Potencialmente, medidas que puedan resultar ser maladaptativas y que, por ejemplo, implican un mayor consumo eléctrico, como el uso del aire acondicionado que puede dar lugar a un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero mientras persista una alta dependencia de los combustibles fósiles en el sistema eléctrico. Sin embargo, este impacto se reducirá progresivamente a medida que avance la transición energética y se descarbonice la generación eléctrica.
Déficits de información	Los principales déficits de información encontrados en la literatura son (Dasgupta y Robinson, 2023): • Ausencia de definiciones compartidas. • Limitaciones de algunos indicadores del estrés térmico, como la temperatura de bulbo húmedo. • Falta de análisis empíricos sobre el impacto del calor sobre la productividad laboral. • Efectos sobre trabajadores que presenten vulnerabilidades diversas. • Beneficios de la adaptación. Además, la literatura que analiza los riesgos de ocupaciones feminizadas (p. ej., educación, cuidados) es extremadamente limitada, por lo que no se han encontrado evidencias de los riesgos en estos ámbitos.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.3. RC1.3. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura

La exposición a la contaminación atmosférica es un factor de riesgo de mortalidad prematura, enfermedades respiratorias y cardiovasculares, entre otros problemas graves de salud (Díaz *et al.*, 1999; van Daalen *et al.*, 2024). Aunque no es un riesgo directo del cambio climático, el aumento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones pueden empeorar los episodios de contaminación atmosférica; a su vez, niveles altos de contaminación contribuyen a exacerbar el efecto de las temperaturas sobre la salud. A su vez, las políticas de mitigación no sólo reducen el cambio climático, sino que también contribuyen a mejorar la calidad del aire. Además, dichos cobeneficios para la salud de las personas superan los costes de dichas políticas (Ščasný *et al.*, 2015). La **Figura 4** muestra la cadena de impactos vinculada este riesgo.

El aumento de temperaturas y los episodios de calor extremo pueden contribuir a agravar la contaminación atmosférica (Ingole *et al.*, 2022; Lou *et al.*, 2019). Otro peligro relevante es la aparición de condiciones propicias para los incendios forestales, que liberan partículas finas y otros contaminantes al aire (Ruiz-Páez *et al.*, 2024), afectando a poblaciones situadas incluso a gran distancia del foco del incendio (Silver *et al.*, 2024).

La **exposición** se concentra principalmente en las zonas urbanas, donde la densidad de población coincide con las mayores emisiones de tráfico y actividad industrial, así como con condiciones locales que favorecen la acumulación de contaminantes y efecto isla de calor. La residencia en áreas próximas a fuentes de emisión (grandes vías de circulación, polígonos industriales, centrales energéticas) incrementa de manera notable la exposición a contaminantes atmosféricos (Harlan y Ruddell, 2011; Van Tol *et al.*, 2024). La creciente urbanización y artificialización del suelo también amplifican este riesgo al reducir la presencia de áreas verdes que podrían actuar como filtros naturales de contaminantes y moderadores de la temperatura (Chiabai *et al.*, 2020).

La **vulnerabilidad** de la población frente a la contaminación atmosférica se manifiesta en múltiples dimensiones. Desde el punto de vista de la salud, son especialmente sensibles las personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas, así como quienes padecen otras condiciones subyacentes que reducen su capacidad de adaptación fisiológica. Los grupos de edad extremos —niños y personas mayores— también se encuentran en mayor riesgo, al igual que quienes sufren problemas de salud mental (Díaz *et al.*, 1999; Soares *et al.*, 2023).

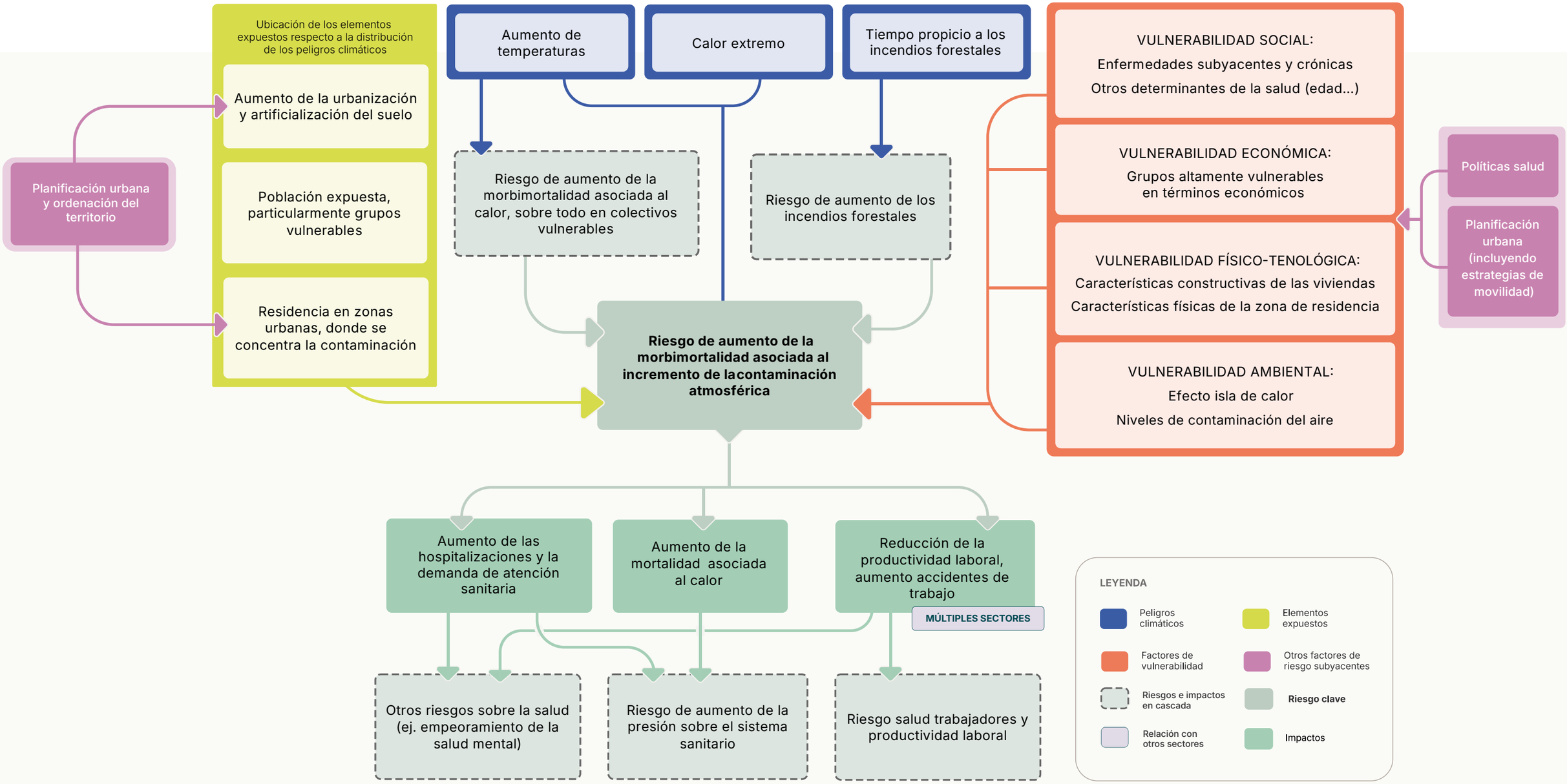


Figura 4. Cadena de impacto. RC3. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura.

En la dimensión económica y social, los grupos con menos recursos tienen menos posibilidades de protegerse, ya sea porque habitan en viviendas mal aisladas, situadas en barrios con alta densidad de tráfico, o porque no pueden acceder a sistemas de climatización o purificación del aire. El aislamiento social, por ejemplo, en personas mayores que viven solas, incrementa la probabilidad de no recibir asistencia en episodios críticos (Vandyck *et al*., 2022). En el plano ambiental, la vulnerabilidad está determinada por las características físicas de las viviendas y del barrio de residencia: la falta de ventilación, el hacinamiento o la escasez de espacios verdes refuerzan la exposición a contaminantes. A ello se suma la contaminación acumulada en entornos urbanos y la ausencia de medidas de mitigación, que convierten algunos barrios en focos persistentes de riesgo sanitario (O'Lenick *et al*., 2019).

Por último, en el ámbito institucional, la existencia y efectividad de políticas públicas de salud y de planificación urbana juegan un papel fundamental. La capacidad de los sistemas de vigilancia para anticipar episodios de alta contaminación, la activación de alertas y la promoción de estrategias de movilidad sostenible determinan en gran medida la reducción del riesgo (Ebi *et al*., 2021b). Además, las políticas de mitigación pueden contribuir a generar cobeneficios en términos de mejora de la salud de las personas (Markandya *et al*., 2018).

Los **riesgos subyacentes** asociados están ligados a factores que se han mencionado también en relación con los dos riesgos clave precedentes. La urbanización acelerada y la ordenación del territorio que no incorporan criterios ambientales (ni climáticos) generan ciudades densas y altamente contaminadas. Las estrategias de movilidad centradas en el automóvil privado agravan la polución urbana, mientras que la falta de inversión en transporte público eficiente limita alternativas más saludables. El cambio demográfico, con una población cada vez más envejecida, incrementa la proporción de personas vulnerables. Asimismo, las desigualdades socioeconómicas refuerzan la exposición de determinados grupos, configurando un mapa de riesgo que no se distribuye de manera homogénea en la población (van Daalen *et al*., 2024).

Los **impactos** derivados son múltiples y afectan tanto a la salud pública como a la esfera socioeconómica. El primero y más directo es el aumento de la morbimortalidad vinculada a la contaminación, que se traduce en un mayor número de hospitalizaciones y atenciones médicas, especialmente durante episodios de calor extremo. Esto incrementa la presión sobre los sistemas de salud, que deben responder a picos de demanda. En 2021, la exposición a la contaminación atmosférica en la UE-27 se asoció con 253.000 muertes atribuibles al efecto de las partículas $PM_{2.5}$, además de 52.000 (NO_2) y 22.000 (O_3, ozono). En España, las estimaciones son de alrededor de 14.100 ($PM_{2.5}$), 4.600 (NO_2) y 2.300 (O_3) muertes atribuibles (Soares *et al*., 2023). Además, el mismo informe estima 2.084 ingresos hospitalarios atribuibles a picos de ozono entre mayores de 65 años. En un escenario de altas emisiones (RCP8.5) y teniendo en cuenta el envejecimiento de la población

previsto, Tarín-Carrasco *et al.* (2021) estiman que la exposición a partículas $PM_{2.5}$ podría causar en Europa más de 1,5 millones de muertes prematuras atribuibles al año, en el periodo 2031–2050. Los resultados muestran un impacto mayor en grandes zonas urbanas.

En segundo lugar, la contaminación atmosférica provoca una reducción de la productividad laboral, tanto por el deterioro del rendimiento físico y cognitivo de las personas expuestas como por el incremento de las bajas laborales relacionadas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares. Esto afecta de manera transversal a múltiples sectores económicos. Por ejemplo, en Francia se encontró que un aumento del 10 % en las partículas finas conduce, en promedio, a una disminución del 1,5 % en la productividad laboral. En este caso el efecto también fue mayor en zonas urbanas (Kögel, 2022).

Ficha 3. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al incremento de la contaminación atmosférica.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Catastrófica	Catastrófica
	La contaminación atmosférica es responsable ya de miles de muertes prematuras en España. En 2021 se estima que hubo 14.000 muertes atribuibles sólo a la exposición a partículas PM2,5 (Soares *et al.*, 2023). Las olas de calor y la contaminación generan un efecto combinado que agrava la situación (Ruiz-Páez *et al.*, 2024).	No se han encontrado datos específicos para España en el escenario 1,5 °C, pero dado que la situación actual se considera crítica y los peligros climáticos van a empeorar, se estima que la severidad del impacto a corto plazo es igualmente crítica.	Se espera que las concentraciones de PM2,5 aumenten en más de 2 µg/m³ debido a los efectos del cambio climático. El número de muertes prematuras debido a la exposición aumentaría de forma significativa en Europa occidental (Tarín-Carrasco *et al.*, 2021).	A finales de siglo, sin mitigación, se espera que la mortalidad atribuible a la contaminación atmosférica aumente en el sur de Europa, incluida España (Geels *et al.*, 2015).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alto · Alto	· Alto · Alto	· Alto · Alto	· Alto · Alto
	Datos contrastados por numerosos estudios académicos revisados. Metodologías contrastadas y con estimaciones cuantitativas actualizadas. Cobertura alta para todo el territorio en mortalidad, pero los estudios de morbilidad son más limitados.	Datos contrastados por numerosos estudios académicos revisados. Metodologías contrastadas y con estimaciones cuantitativas actualizadas. Cobertura alta para todo el territorio en mortalidad, pero los estudios de morbilidad son más limitados.	Datos contrastados por numerosos estudios académicos revisados. Metodologías contrastadas y con estimaciones cuantitativas actualizadas. Cobertura alta para todo el territorio en mortalidad, pero los estudios de morbilidad son más limitados.	Datos contrastados aunque menor número de estudios para escenarios catastróficos. Metodologías contrastadas y con estimaciones cuantitativas actualizadas. Cobertura alta para todo el territorio en mortalidad, pero los estudios de morbilidad son más limitados.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Aumento de la temperatura. • Calor extremo. • Tiempo favorable a los incendios.	El elemento expuesto son las personas, pero la exposición será mayor en zonas urbanas, donde el riesgo de concentraciones altas de contaminantes atmosféricos es mayor (Tarín-Carrasco *et al.*, 2021).	Tarín-Carrasco *et al.* (2021) identifican específicamente: • Personas con enfermedades previas. • Personas mayores de 65 años.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Pueden darse impactos transfronterizos en el caso de incendios forestales (Le *et al.*, 2014; Silver *et al.*, 2024).
Territoriales	En general afecta a todo el territorio, aunque se concentra principalmente en los núcleos urbanos.
Sociales	La vulnerabilidad se concentra en personas mayores y con enfermedades previas (López-Bueno *et al.*, 2023; Tarín-Carrasco *et al.*, 2021). Moreno-Jiménez *et al.* (2016) estudiaron la población expuesta a NO2 en Madrid y Barcelona y sus resultados muestran que los niños y la población inmigrante también son grupos especialmente vulnerables.
Maladaptación	Al igual que en los riesgos clave anteriores, el uso del aire acondicionado, si bien se trata de una forma de adaptación al estrés térmico, puede convertirse en una medida de maladaptación si se plantea como una solución exclusiva que cierre la puerta o limite estrategias más eficientes y sostenibles, como el rediseño del espacio público, la mejora de las infraestructuras verdes o la planificación urbana orientada a reducir el efecto isla de calor. No obstante, la maladaptación es un concepto complejo, que tiene diversos ángulos. En este caso, una medida de adaptación o mitigación que aumenta la vulnerabilidad puede ser considerada como maladaptación (Schipper, 2022). Así, medidas como la limitación del tráfico, la peatonalización de vías o el establecimiento de zonas verdes que generan beneficios sobre la salud, deben diseñarse de tal forma que se eviten procesos de gentrificación que acentúen las desigualdades y, con ello, la vulnerabilidad (Planas-Carbonell *et al.*, 2023).
Género	Algunos estudios sugieren que las mujeres pueden mostrar mayores riesgos de padecer problemas de salud, como enfermedades respiratorias y cardiovasculares, cuando se exponen a contaminantes atmosféricos. Sin embargo, también hay estudios que estiman un riesgo mayor para los hombres (Zavala *et al.*, 2024).
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	En 2021 la OMS actualizó los límites de concentraciones de contaminantes atmosféricos, reduciendo los niveles vigentes hasta entonces. En línea con esta actualización, la UE se encuentra en proceso de actualización de la directiva de calidad del aire. También existen límites legales a nivel estatal y autonómico. La superación de límites se estima que da lugar a un exceso de la mortalidad y morbilidad por encima de los límites de concentraciones de contaminantes atmosféricos establecidos por la OMS.
Lock-in/Bloqueo	Seto *et al.* (2016) identifican tres grandes tipos de bloqueo: institucional, tecnológico y de comportamiento. En este caso, el bloqueo no es tanto tecnológico, sino de aceptabilidad de algunas de las medidas propuestas, como por ejemplo la puesta en marcha de zonas de bajas emisiones para limitar las emisiones del transporte en las ciudades. La oposición a determinadas medidas puede estar también relacionado con efectos distributivos, por lo que el diseño de los instrumentos de política pública necesarios será clave (García-Muros *et al.*, 2017).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	La actualización del Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica 2023-2030 es el documento marco que recoge medidas orientadas a reducir la calidad del aire, en coherencia con las políticas de energía y cambio climático, así como agricultura, industria y transporte. Las políticas que abordan la reducción del riesgo del cambio climático incorporan la necesidad de alinear las acciones relacionadas con la calidad del aire: • PNACC 2021-2030. • Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2023-2030). Los planes relacionados con salud ambiental también hacen referencia a la calidad del aire, concretamente, el Plan Estratégico de Salud y Medio Ambiente 2022-2026. Las comunidades autónomas cuentan también con planes locales y supramunicipales para la vigilancia y el control de la calidad del aire.
Gobernanza de gestión del riesgo	La gobernanza funciona a través de una estructura multinivel en la que intervienen el nivel nacional, autonómico y y local. Las políticas españolas sobre contaminación atmosférica están en gran medida alineadas con las directivas de la Unión Europea en la materia (p. ej. Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica, 2023-2030 o el Plan Marco de Acción a corto plazo en caso de episodios de alta contaminación). Las comunidades autónomas tienen importantes responsabilidades en el control de la calidad del aire y en la aplicación de medidas específicas para cumplir los objetivos establecidos. También existe una gobernanza horizontal, de integración de diferentes políticas sectoriales, como, por ejemplo, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2023-2030), recientemente actualizado.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Los avances en políticas de calidad del aire de las últimas décadas han conseguido mejorar los niveles de calidad del aire en toda España y han reducido la gravedad de los impactos sobre la salud y los ecosistemas (Vedrenne *et al.*, 2015). Sin embargo, los esfuerzos son aún insuficientes. La inversión en políticas de reducción de emisiones tiene un doble beneficio: contribuir a mitigar el cambio climático y mejorar la calidad del aire, con beneficios sustanciales para la salud de las personas. En términos monetarios, la relación entre el beneficio para la salud y el coste de mitigación varía entre 1,4 y 2,45 en función del escenario climático considerado (Markandya *et al.*, 2018). Rodríguez-Álvarez *et al.* (2021) estimaron que la inversión en energías renovables era eficaz para reducir los efectos negativos sobre la salud, mejorar la calidad del aire y aumentar la esperanza de vida.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Tal y como se ha recogido en el punto anterior, las políticas de mitigación están estrechamente relacionadas con la calidad del aire. Los cobeneficios de la mitigación sobre la salud es un tema que se ha estudiado ampliamente (Buchholz *et al.*, 2020). Además, medidas como el uso del aire acondicionado que puede dar lugar a un aumento del consumo eléctrico, puede traducirse en un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero mientras persista una alta dependencia de los combustibles fósiles en el sistema eléctrico. Este impacto se reducirá progresivamente a medida que avance la transición energética y se descarbonice la generación eléctrica.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Déficits de información	Los principales déficits de información están relacionados con: • Disponibilidad de datos a escala regional y local. • Vulnerabilidad interseccional: los estudios suelen centrarse en factores de vulnerabilidad únicos y son poco frecuentes los que abordan la interacción entre múltiples factores (sexo, edad, etnia, nivel socioeconómico, etc.). • Aunque existen numerosos estudios que abordan el efecto del calor y el de la contaminación atmosférica, la literatura debe avanzar en el análisis de los efectos sinérgicos. • Los estudios que abordan los efectos de la contaminación del aire sobre la salud laboral son limitados. El papel de políticas de mitigación de diferentes sectores y su interrelación.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere un seguimiento periódico. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad, se ha desarrollado un modelo basado en la teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí. Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

Un aspecto destacable en los resultados obtenidos es que el sector de la salud presenta un número reducido de interacciones con otros sectores. Esta situación puede explicarse por diversos factores. En primer lugar, el grado de interconexión depende en gran medida del proceso de identificación de riesgos clave y de la manera en que estos se han conceptualizado. En el caso de la salud, los riesgos definidos se centran en la morbimortalidad asociada al calor sobre colectivos vulnerables (RC1.1), sobre las personas trabajadoras (RC2) y en el efecto sinérgico del aumento de temperatura y de la contaminación atmosférica. Se trata, en su mayoría, de riesgos finales, que reciben la influencia de otros pero que no generan impactos directos sobre ellos en el marco de la clasificación utilizada. Esta condición se refleja

claramente en las métricas obtenidas: los riesgos de salud presentan grados de salida nulos y únicamente relaciones de entrada. Por ejemplo, el *Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables,* tiene un grado de entrada 5 y grado de salida 0 (**Figura 5**).

En segundo lugar, el número de matrices de adyacencia recibidas para el sector salud fue menor en comparación con otros sectores, y, además, el modelo se centra en relaciones de causalidad directa, mientras que muchos de los efectos de la salud sobre otros ámbitos (como la productividad laboral, la cohesión social o incluso el desempeño económico) suelen manifestarse de manera indirecta y, por tanto, no han quedado reflejados en el grafo resultante.

Aunque estos factores ayudan a explicar por qué el sector salud aparece con menor nivel de interacción y en una posición periférica, no debe interpretarse como una ausencia de relevancia ni relación con otros sectores, sino como una consecuencia del enfoque metodológico adoptado y del carácter finalista de los riesgos clave identificados en el sector de la salud dentro de la red.

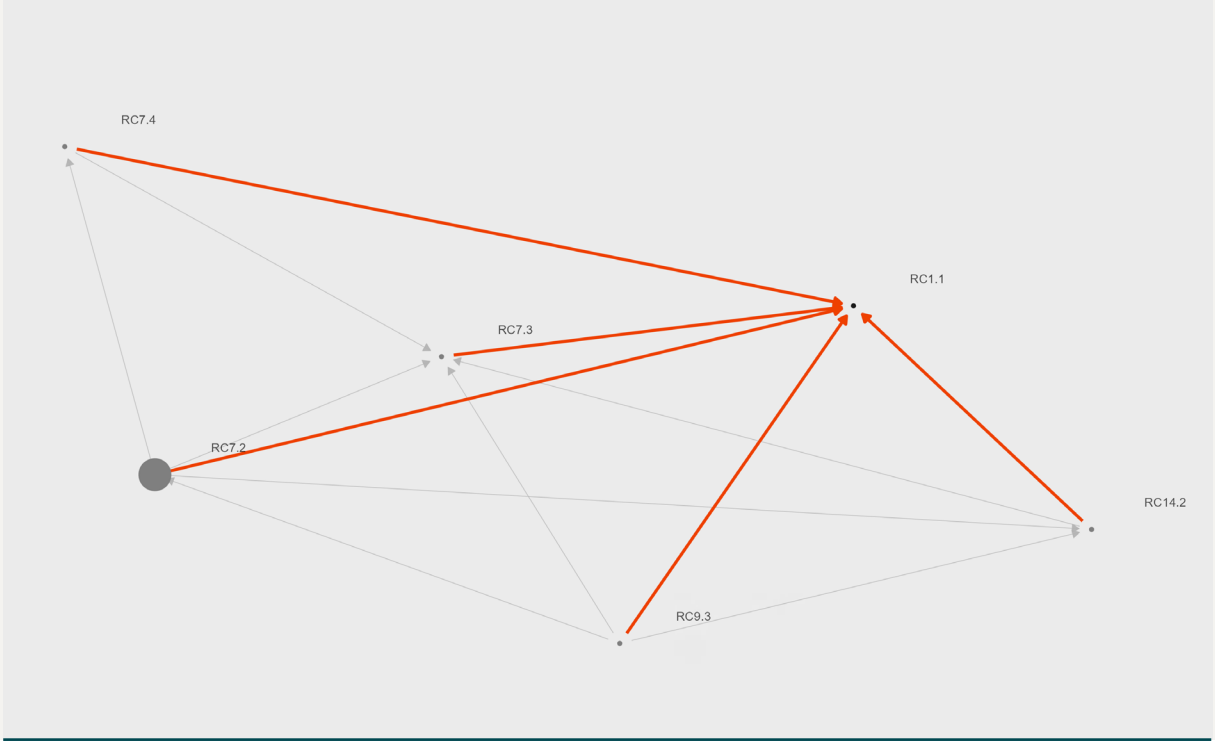


Figura 5. Grafo del Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (RC1.1). Fuente: capítulo de riesgos complejos.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito de la salud. Fuente: capítulo 7, de riesgos complejos.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC1.1. Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (personas ancianas, infancia, o con enfermedades previas).	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Baja ▼
RC1.2. Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas.	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Baja ▼
RC1.3. Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al incremento de la contaminación atmosférica.	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Baja ▼

6. Caso de estudio

El caso de estudio del proyecto europeo COOLTORISE ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de la salud. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por las comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

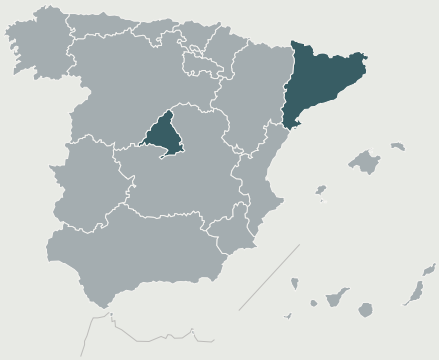
MADRID COOLTORISE

Objeto

- El proyecto europeo COOLTORISE busca reducir la incidencia de la pobreza energética estival entre los hogares europeos, mejorando sus condiciones de habitabilidad térmica interior y reduciendo sus necesidades energéticas durante la estación cálida, lo que a su vez disminuirá su exposición al calor y a los riesgos para la salud relacionados con el calor.

Descripción:

- Aunque la pobreza energética se ha asociado tradicionalmente con la incapacidad de los hogares de responder a las necesidades de calefacción en invierno, hasta el 19 % de los hogares europeos declaran no disfrutar de una temperatura adecuada en verano. El cambio climático está aumentando ya tanto la severidad como la frecuencia de las temperaturas extremas y las olas de calor, lo que repercute negativamente en la salud y el bienestar de las personas. Por ello, las necesidades de refrigeración y el riesgo de sobrecalentamiento deben incorporarse en el concepto de pobreza energética.
- Para ello, desde el proyecto COOLTORISE se ha trabajado con agentes de interés y familias vulnerables en riesgo de pobreza energética estival



Ámbito Territorial:

- Madrid, Barcelona.

Sector(es)/subsector:

- Ciudad, Urbanismo y Edificación; Salud; Energía.

Entidad(es) del proyecto:

- Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Asociación Ecoserveis, Asociación Bienestar y Desarrollo.

Escala:

- Local.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

mejorando sus condiciones de habitabilidad térmica interior y reduciendo sus necesidades energéticas durante la estación cálida. Se espera que estas actuaciones reduzcan su exposición al calor y los riesgos para la salud asociados.

Aspectos destacables:

- Diseño de soluciones prácticas para reducir el sobrecalentamiento en interiores sin incrementar el consumo energético.
- Formación de agentes comunitarios para apoyar a familias vulnerables frente al calor.
- Impacto directo en miles de personas en situación de vulnerabilidad mediante la mejora del confort térmico y la reducción de riesgos sobre la salud relacionados.
- Enfoque de género, abordando la feminización de la pobreza energética y empoderando a las mujeres en la gestión del calor.
- Elaboración de recomendaciones de política pública con medidas urbanas y sociales frente al calor extremo.
- Participación activa de la ciudadanía en la definición de soluciones adaptadas a barrios y contextos locales.

Riesgos:

- El riesgo más relevante con el que se asocia este proyecto es el Riesgo Clave 1 "Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables".

Enlaces :

- Web oficial del proyecto COOLTORISE: https://cooltorise.eu/
- COOLTORISE, documentos de recomendaciones para abordar la pobreza energética estival en las políticas públicas: https://cooltorise.eu/keeping-cool-in-a-warming-world-cooltorises-policy-recommendations-to-combat-summer-energy-poverty/

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

Desequilibrio temático y territorial

La literatura científica sobre mortalidad asociada al calor es muy amplia y permite afirmar que se trata de un riesgo actual y generalizado en el territorio. Sin embargo, el conocimiento sobre morbilidad es limitado, especialmente en lo que respecta a urgencias, ingresos hospitalarios y salud mental. En el ámbito laboral, Dasgupta y Robinson (2023) resumen las lagunas de conocimiento específicas de este campo, que van desde la ausencia de definiciones consensuadas (productividad, capacidad, rendimiento), las dificultades en el uso de variables como la temperatura de bulbo húmedo y las limitaciones de las funciones de respuesta.

En relación con los riesgos relevantes, la disponibilidad de información es aún mucho más limitada. Es también más fragmentada desde el punto de vista territorial.

Al igual que en otros sectores, no es habitual encontrar evaluaciones de riesgos integradas e impactos sobre el sector en su conjunto, sino estudios que abordan un único riesgo (o parte de él).

Diferencias en las aproximaciones metodológicas, umbrales y adaptación

La estimación del impacto atribuible al calor depende de cómo se definen y operativizan los umbrales de temperatura. Sin embargo, en la literatura se encuentran diversos enfoques que dificultan la comparación entre estudios. Además, la literatura muestra la existencia de procesos de adaptación (aclimatación) que están reduciendo parte de la mortalidad observada, lo que debería llevar a actualizar periódicamente los umbrales y a contemplar parámetros dependientes del tiempo en el seguimiento, aunque la complejidad de hacerlo es evidente. Por otro lado, la literatura sobre la efectividad de las políticas de adaptación a la hora de reducir el riesgo es limitada.

Años base y escenarios

Otra de las dificultades habituales en las revisiones de la literatura sobre los impactos del cambio climático y que también encontramos en este capítulo es el uso de años base y escenarios diferentes.

Esto dificulta la comparación de los resultados de los estudios y la valoración de sus implicaciones.

Aunque algunos trabajos emplean varios escenarios climáticos (p. ej., Díaz *et al*., 2019), es frecuente el uso de un único escenario, a menudo el escenario de mayores emisiones (RCP8.5). Sin embargo, la literatura reciente desaconseja su uso como escenario "*business as usual*", ya que puede llevar a su malinterpretación (Hausfather y Peters, 2020).

Tener en cuenta los peores casos es una estrategia que se ha defendido en la literatura debido a la gravedad de los riesgos a los que nos enfrentamos (Weitzman, 2011). Sin embargo, hacerlo de forma exclusiva puede limitar el análisis e infravalorar el papel de la adaptación.

El papel de la vulnerabilidad

En comparación con otros sectores, los estudios de salud integran con mayor frecuencia la vulnerabilidad social (edad, renta, género, condiciones residenciales, soledad y estatus migratorio), pero persisten lagunas y heterogeneidades en su medición, así como el estudio de factores de interseccionalidad. Aunque es probable que desagregar más la vulnerabilidad pueda dificultar la comparación, permitiría priorizar medidas específicas para los grupos más vulnerables.

8. Referencias

- AAE, 2024. Responding to climate change impacts on human health in Europe: focus on floods, droughts and water quality. Publications Office, Luxemburgo.
- AAE, 2023. Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease 2023 (EEA Briefing No. 23/2023). Agencia Europea del Medio Ambiente, LU.
- Achebak, H., Rey, G., Chen, Z., Lloyd, S.J., Quijal-Zamorano, M., Méndez-Turrubiates, R.F., Ballester, J., 2024. Heat Exposure and Cause-Specific Hospital Admissions in Spain: A Nationwide Cross-Sectional Study. Environmental Health Perspectives 132, 057009. https://doi.org/10.1289/EHP13254
- Adélaïde, L., Chanel, O., Pascal, M., 2022. Health effects from heat waves in France: an economic evaluation. Eur J Health Econ 23, 119–131. https://doi.org/10.1007/s10198-021-01357-2
- Alho, A.M., Oliveira, A.P., Viegas, S., Nogueira, P., 2024. Effect of heatwaves on daily hospital admissions in Portugal, 2000–18: an observational study. The Lancet Planetary Health 8, e318–e326. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00046-9
- Amorim-Maia, A.T., Anguelovski, I., Connolly, J., Chu, E., 2023. Seeking refuge? The potential of urban climate shelters to address intersecting vulnerabilities. Landscape and Urban Planning 238, 104836. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104836
- Ascaso, M.S., Díaz, J., López-Bueno, J.A., Navas, M.A., Mirón, I.J., Linares, C., 2024. How heatwaves affect short-term emergency hospital admissions due to bacterial foodborne diseases. Science of The Total Environment 946, 174209. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174209
- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R.F., Pegenaute, F., Herrmann, F.R., Robine, J.M., Basagaña, X., Tonne, C., Antó, J.M., Achebak, H., 2023. Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. Nat Med 29, 1857–1866. https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z
- Bednar-Friedl, B., Biesbroek, R., Schmidt, D.N., Alexander, P., Børsheim, K.Y., Carnicer, J., Georgopoulou, E., Haasnoot, M., Cozannet, G.L., Lionello, P., Lipka, O., Möllmann, C., Muccione, V., Mustonen, T., Piepenburg, D., Whitmarsh, L., 2022. Europe. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://doi.org/10.1017/9781009325844.015.1817
- Bell, J.E., Brown, C.L., Conlon, K., Herring, S., Kunkel, K.E., Lawrimore, J., Luber, G., Schreck, C., Smith, A., Uejio, C., 2018. Changes in extreme events and the potential impacts on human health. Journal of the Air & Waste Management Association 68, 265–287. https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1401017
- Berisha, V., Hondula, D., Roach, M., White, J.R., McKinney, B., Bentz, D., Mohamed, A., Uebelherr, J., Goodin, K., 2017. Assessing Adaptation Strategies for Extreme Heat: A Public Health Evaluation of Cooling Centers in Maricopa County, Arizona. Weather, Climate, and Society 9, 71–80. https://doi.org/10.1175/WCAS-D-16-0033.1
- Betts, R.A., Brown, K., 2021. The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.
- Brown, K., Ecclestone, K., Emmel, N., 2017. The Many Faces of Vulnerability. Social Policy and Society 16, 497–510. https://doi.org/10.1017/S1474746416000610

- Brugueras, S., Fernández-Martínez, B., Martínez-de la Puente, J., Figuerola, J., Porro, T.M., Rius, C., Larrauri, A., Gómez-Barroso, D., 2020. Environmental drivers, climate change and emergent diseases transmitted by mosquitoes and their vectors in southern Europe: A systematic review. Environmental Research 191, 110038. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110038
- Buchholz, W., Markandya, A., Rübbelke, D., Vögele, S. (Eds.), 2020. Ancillary benefits of climate policy. Springer International Publishing, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30978-7_10
- Büntgen, U., Reinig, F., Verstege, A., Piermattei, A., Kunz, M., Krusic, P., Slavin, P., Štěpánek, P., Torbenson, M., del Castillo, E.M., Arosio, T., Kirdyanov, A., Oppenheimer, C., Trnka, M., Palosse, A., Bebchuk, T., Camarero, J.J., Esper, J., 2024. Recent summer warming over the western Mediterranean region is unprecedented since medieval times. Global and Planetary Change 232, 104336. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2023.104336
- Burbank, A.J., 2025. Climate Change and the Future of Allergies and Asthma. Curr Allergy Asthma Rep 25, 20. https://doi.org/10.1007/s11882-025-01201-0
- Calama-González, C.M., Escandón, R., Suárez, R., Alonso, A., León-Rodríguez, Á.L., 2024. Household energy vulnerability evaluation in southern Spain through parametric energy simulation models and socio-economic data. Sustainable Cities and Society 103, 105276. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105276
- Casanueva, A., Kotlarski, S., Fischer, A.M., Flouris, A.D., Kjellstrom, T., Lemke, B., Nybo, L., Schwierz, C., Liniger, M.A., 2020. Escalating environmental summer heat exposure—a future threat for the European workforce. Reg Environ Change 20, 40. https://doi.org/10.1007/s10113-020-01625-6
- CC.OO., 2019. Estudio de la normativa relacionada con la exposición a condiciones climatológicas adversas en el sector de la construcción. CCOO de Construcción y Servicios.
- Chakraborty, T., Hsu, A., Manya, D., Sheriff, G., 2019. Disproportionately higher exposure to urban heat in lower-income neighborhoods: a multi-city perspective. Environ. Res. Lett. 14, 105003. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3b99
- Cheng, J., Xu, Z., Bambrick, H., Prescott, V., Wang, N., Zhang, Y., Su, H., Tong, S., Hu, W., 2019. Cardiorespiratory effects of heatwaves: A systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. Environmental Research 177, 108610. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108610
- Chiabai, A., Quiroga, S., Martinez-Juarez, P., Suárez, C., García de Jalón, S., Taylor, T., 2020. Exposure to green areas: Modelling health benefits in a context of study heterogeneity. Ecological Economics 167, 106401. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106401
- Chiabai, A., Spadaro, J.V., Neumann, M.B., 2018. Valuing deaths or years of life lost? Economic benefits of avoided mortality from early heat warning systems. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. https://doi.org/10.1007/s11027-017-9778-4
- CNSST, 2019. Vigilancia de la Salud para la Prevención de Riesgos Laborales. Guía Básica y General de Orientación. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, Madrid.
- Colpitts, T.M., Conway, M.J., Montgomery, R.R., Fikrig, E., 2012. West Nile Virus: Biology, Transmission, and Human Infection. Clin Microbiol Rev 25, 635–648. https://doi.org/10.1128/CMR.00045-12
- D'Amato, G., Chong-Neto, H.J., Monge Ortega, O.P., Vitale, C., Ansotegui, I., Rosario, N., Haahtela, T., Galan, C., Pawankar, R., Murrieta-Aguttes, M., Cecchi, L., Bergmann, C., Ridolo, E., Ramon, G., Gonzalez Diaz, S., D'Amato, M., Annesi-Maesano, I., 2020. The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. Allergy 75, 2219–2228. https://doi.org/10.1111/all.14476

- D'Amato, G., Pawankar, R., Vitale, C., Lanza, M., Molino, A., Stanziola, A., Sanduzzi, A., Vatrella, A., D'Amato, M., 2016. Climate Change and Air Pollution: Effects on Respiratory Allergy. Allergy Asthma Immunol Res 8, 391. https://doi.org/10.4168/aair.2016.8.5.391
- Dasgupta, S., Robinson, E.J.Z., 2023. The labour force in a changing climate: Research and policy needs. PLOS Climate 2, e0000131. https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000131
- Dasgupta, S., van Maanen, N., Gosling, S.N., Piontek, F., Otto, C., Schleussner, C.-F., 2021. Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study. The Lancet Planetary Health 5, e455–e465. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00170-4
- Davis, L.W., Gertler, P.J., 2015. Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming. Proceedings of the National Academy of Sciences 112, 5962–5967. https://doi.org/10.1073/pnas.1423558112
- De Cian, E., Pavanello, F., Randazzo, T., Mistry, M.N., Davide, M., 2019. Households' adaptation in a warming climate. Air conditioning and thermal insulation choices. Environmental Science & Policy 100, 136–157. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.015
- Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Ortiz, C., León, I., Linares, C., 2015. Geographical variation in relative risks associated with heat: Update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. Environment International 85, 273–283. https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.022
- Díaz, J., García, R., Ribera, P., Alberdi, J.C., Hernández, E., Pajares, M.S., Otero, A., 1999. Modeling of air pollution and its relationship with mortality and morbidity in Madrid, Spain. Int Arch Occup Environ Health 72, 366–376. https://doi.org/10.1007/s004200050388
- Díaz, J., López, I.A., Carmona, R., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Linares, C., 2018. Short-term effect of heat waves on hospital admissions in Madrid: Analysis by gender and comparision with previous findings. Environmental Pollution 243, 1648–1656. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.098
- Díaz, J., Sáez, M., Carmona, R., Mirón, I.J., Barceló, M.A., Luna, M.Y., Linares, C., 2019. Mortality attributable to high temperatures over the 2021–2050 and 2051–2100 time horizons in Spain: Adaptation and economic estimate. Environmental Research 172, 475–485. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.041
- Dunne, J.P., Stouffer, R.J., John, J.G., 2013. Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. Nature Clim Change 3, 563–566. https://doi.org/10.1038/nclimate1827
- Ebi, K.L., Bowen, K., 2016. Extreme events as sources of health vulnerability: Drought as an example. Weather and Climate Extremes, Observed and Projected (Longer-term) Changes in Weather and Climate Extremes 11, 95–102. https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.001
- Ebi, K.L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., Dear, R. de, Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R.S., Ma, W., Malik, A., Morris, N.B., Nybo, L., Seneviratne, S.I., Vanos, J., Jay, O., 2021a. Hot weather and heat extremes: health risks. The Lancet 398, 698–708. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3
- Ebi, K.L., Hess, J.J., 2020. Health Risks Due To Climate Change: Inequity in Causes and Consequences. Health Affairs 39, 2056–2062. https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01125
- Ebi, K.L., Vanos, J., Baldwin, J.W., Bell, J.E., Hondula, D.M., Errett, N.A., Hayes, K., Reid, C.E., Saha, S., Spector, J., Berry, P., 2021b. Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications. Annual Review of Public Health 42, 293–315. https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026

- EFSA, ECDC, 2022. The European Union One Health 2021 Zoonoses Report. EFSA Journal 20, e07666. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7666
- Eklund, G., Sibilia, A., Salvi, A., Antofie, T.-E., Rodomonti, D., Salari, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z., Corbane, C., 2023. Towards a European wide vulnerability framework: a flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Erber, W., Schmitt, H.-J., 2018. Self-reported tick-borne encephalitis (TBE) vaccination coverage in Europe: Results from a cross-sectional study. Ticks and Tick-borne Diseases 9, 768–777. https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.02.007
- Erickson, T.B., Brooks, Julia, Nilles, Eric J., Pham, Phuong N., and Vinck, P., 2019. Environmental health effects attributed to toxic and infectious agents following hurricanes, cyclones, flash floods and major hydrometeorological events. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B 22, 157–171. https://doi.org/10.1080/10937404.2019.1654422
- Escandón, R., Suárez, R., Alonso, A., Mauro, G.M., 2022. Is indoor overheating an upcoming risk in southern Spain social housing stocks? Predictive assessment under a climate change scenario. Building and Environment 207, 108482. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108482
- Falchetta, G., Cian, E.D., Pavanello, F., Wing, I.S., 2024. Inequalities in global residential cooling energy use to 2050. Nat Commun 15, 7874. https://doi.org/10.1038/s41467-024-52028-8
- Farooq, Z., Sjödin, H., Semenza, J.C., Tozan, Y., Sewe, M.O., Wallin, J., Rocklöv, J., 2023. European projections of West Nile virus transmission under climate change scenarios. One Health 16, 100509. https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100509
- Fernandez Milan, B., Creutzig, F., 2015. Reducing urban heat wave risk in the 21st century. Current Opinion in Environmental Sustainability, Open Issue 14, 221–231. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.08.002
- Fischer, L., Gültekin, N., Kaelin, M.B., Fehr, J., Schlagenhauf, P., 2020. Rising temperature and its impact on receptivity to malaria transmission in Europe: A systematic review. Travel Medicine and Infectious Disease 36, 101815. https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101815
- Flouris, A., Azzi, M., Graczyk, H., Nafradi, B., Scott, N., 2024. Heat at work: implications for safety and health: a global review of the science, policy and practice. ILO, Geneva.
- Ford, J.D., Pearce, T., McDowell, G., Berrang-Ford, L., Sayles, J.S., Belfer, E., 2018. Vulnerability and its discontents: the past, present, and future of climate change vulnerability research. Climatic Change 151, 189–203. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2304-1
- Foster, J., Smallcombe, J.W., Hodder, S., Jay, O., Flouris, A.D., Nybo, L., Havenith, G., 2021. An advanced empirical model for quantifying the impact of heat and climate change on human physical work capacity. Int J Biometeorol 65, 1215–1229. https://doi.org/10.1007/s00484-021-02105-0
- Foudi, S., Osés-Eraso, N., Galarraga, I., 2017. The effect of flooding on mental health: Lessons learned for building resilience. Water Resources Research 53, 5831–5844. https://doi.org/10.1002/2017WR020435
- Galán, C., Alcázar, P., Oteros, J., García-Mozo, H., Aira, M.J., Belmonte, J., Diaz de la Guardia, C., Fernández-González, D., Gutierrez-Bustillo, M., Moreno-Grau, S., Pérez-Badía, R., Rodríguez-Rajo, J., Ruiz-Valenzuela, L., Tormo, R., Trigo, M.M., Domínguez-Vilches, E., 2016. Airborne pollen trends in the Iberian Peninsula. Science of The Total Environment 550, 53–59. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.069

- García de Jalón, S., Chiabai, A., Mc Tague, A., Artaza, N., de Ayala, A., Quiroga, S., Kruize, H., Suárez, C., Bell, R., Taylor, T., 2020. Providing Access to Urban Green Spaces: A Participatory Benefit-Cost Analysis in Spain. International Journal of Environmental Research and Public Health 17, 2818. https://doi.org/10.3390/ijerph17082818
- García-León, D., Masselot, P., Mistry, M.N., Gasparrini, A., Motta, C., Feyen, L., Ciscar, J.-C., 2024. Temperature-related mortality burden and projected change in 1368 European regions: a modelling study. The Lancet Public Health 0. https://doi.org/10.1016/S2468-2667(24)00179-8
- García-Muros, X., Burguillo, M., González-Eguino, M., Romero-Jordán, D., 2017. Local air pollution and global climate change taxes: a distributional analysis for the case of Spain. Journal of Environmental Planning and Management 60, 419–436. https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1159951
- Garrido-Perez, J.M., García-Herrera, R., Barriopedro, D., Ordóñez, C., 2023. Shifting summer holidays in Spain as an adaptation measure to climate change. Science of The Total Environment 904, 166879. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166879
- Geels, C., Andersson, C., Hänninen, O., Lansø, A.S., Schwarze, P.E., Skjøth, C.A., Brandt, J., 2015. Future Premature Mortality Due to O3, Secondary Inorganic Aerosols and Primary PM in Europe — Sensitivity to Changes in Climate, Anthropogenic Emissions, Population and Building Stock. International Journal of Environmental Research and Public Health 12, 2837–2869. https://doi.org/10.3390/ijerph120302837
- Goerlich, F.J., Cantarino, I., 2015. Estimaciones de la población rural y urbana a nivel municipal. Estadística Española 57, 5–28.
- Groen, L., Alexander, M., King, J.P., Jager, N.W., Huitema, D., 2023. Re-examining policy stability in climate adaptation through a lock-in perspective. Journal of European Public Policy 30, 488–512. https://doi.org/10.1080/13501763.2022.2064535
- Gronlund, C.J., Zanobetti, A., Wellenius, G.A., Schwartz, J.D., O'Neill, M.S., 2016. Vulnerability to renal, heat and respiratory hospitalizations during extreme heat among U.S. elderly. Climatic Change 136, 631–645. https://doi.org/10.1007/s10584-016-1638-9
- Harlan, S.L., Ruddell, D.M., 2011. Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation. Current Opinion in Environmental Sustainability 3, 126–134. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.001
- Hass, A.L., Runkle, J.D., Sugg, M.M., 2021. The driving influences of human perception to extreme heat: A scoping review. Environmental Research 197, 111173. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111173
- Hausfather, Z., Peters, G.P., 2020. Emissions – the 'business as usual' story is misleading. Nature 577, 618–620. https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3
- Heaviside, C., Macintyre, H., Vardoulakis, S., 2017. The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. Curr Envir Health Rpt 4, 296–305. https://doi.org/10.1007/s40572-017-0150-3
- Helgeson, J., van der Linden, S., Chabay, I., 2012. The role of knowledge, learning and mental models in public perceptions of climate change related risks, in: Wals, A.E.J. (Ed.), Learning for Sustainability in Times of Accelerating Change. Wageningen Academic Publishers, pp. 329–346. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-757-8_21
- Hertig, E., 2019. Distribution of Anopheles vectors and potential malaria transmission stability in Europe and the Mediterranean area under future climate change. Parasites & Vectors 12, 18. https://doi.org/10.1186/s13071-018-3278-6

- INE, 2024. Ocupados por sexo y rama de actividad. Valores absolutos y porcentajes respecto del total de cada sexo (65985).
- INE, 2020. Encuesta Continua de Hogares (ECH).
- Ingole, V., Dimitrova, A., Sampedro, J., Sacoor, C., Acacio, S., Juvekar, S., Roy, S., Moraga, P., Basagaña, X., Ballester, J., Antó, J.M., Tonne, C., 2022. Local mortality impacts due to future air pollution under climate change scenarios. Science of The Total Environment 823, 153832. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153832
- INSST, 2023. Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2023-2027. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, Madrid.
- IPCC, 2022. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1st ed. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844
- Jendritzky, G., de Dear, R., Havenith, G., 2012. UTCI—Why another thermal index? Int J Biometeorol 56, 421–428. https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7
- Jessen, M.J., Fertner, C., Fryd, O., 2025. Social vulnerability in regional climate adaptation planning in Europe – Conceptions, operationalisations and shared challenges. Environmental Science & Policy 171, 104161. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104161
- Juhola, S., Käyhkö, J., 2023. Maladaptation as a concept and a metric in national adaptation policy-Should we, would we, could we? PLOS Climate 2, e0000213. https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000213
- Kamal, M., Kenawy, M.A., Rady, M.H., Khaled, A.S., Samy, A.M., 2018. Mapping the global potential distributions of two arboviral vectors Aedes aegypti and Ae. albopictus under changing climate. PLOS ONE 13, e0210122. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210122
- Klinger, C., Landeg, O., Murray, V., 2014. Power Outages, Extreme Events and Health: a Systematic Review of the Literature from 2011-2012. PLoS Curr. https://doi.org/10.1371/currents.dis.04eb1dc5e73dd1377e05a10e9edde673
- Kögel, C., 2022. The impact of air pollution on labour productivity in France. Documents de travail du Centre d'Économie de la Sorbonne.
- Lara-García, Á., Rivera-Gómez, C., Núñez-Rivera, C., Galán-Marín, C., Cruz-Mazo, E.C., 2024. Linking Vulnerability to Heatwaves and Public Health: Indicators for EU Policies on Energy Renovation of Residential Buildings, in: Galende Sánchez, E., Sorman, A.H., Cabello, V., Heidenreich, S., Klöckner, C.A. (Eds.), Strengthening European Climate Policy: Governance Recommendations from Innovative Interdisciplinary Collaborations. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 61–74. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72055-0_6
- Le, G.E., Breysse, P.N., McDermott, A., Eftim, S.E., Geyh, A., Berman, J.D., Curriero, F.C., 2014. Canadian Forest Fires and the Effects of Long-Range Transboundary Air Pollution on Hospitalizations among the Elderly. ISPRS International Journal of Geo-Information 3, 713–731. https://doi.org/10.3390/ijgi3020713
- Leal Filho, W., Krishnapillai, M., Minhas, A., Ali, S., Nagle Alverio, G., Hendy Ahmed, M.S., Naidu, R., Prasad, R.R., Bhullar, N., Sharifi, A., Nagy, G.J., Kovaleva, M., 2022. Climate change, extreme events and mental health in the Pacific region. International Journal of Climate Change Strategies and Management 15, 20–40. https://doi.org/10.1108/IJCCSM-03-2022-0032

- Lelieveld, J., Haines, A., Burnett, R., Tonne, C., Klingmüller, K., Münzel, T., Pozzer, A., 2023. Air pollution deaths attributable to fossil fuels: observational and modelling study. BMJ 383, e077784. https://doi.org/10.1136/bmj-2023-077784
- Linares, C., López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Díaz, J., 2024. Determinación de umbrales de mortalidad por ola de calor según regiones isoclimáticas en España. Instituto de Salud Carlos III (ISCIII). Escuela Nacional de Sanidad (ENS), Madrid. https://doi.org/10.4321/repisalud.17386
- Liss, A., Naumova, E.N., 2019. Heatwaves and hospitalizations due to hyperthermia in defined climate regions in the conterminous USA. Environ Monit Assess 191, 394. https://doi.org/10.1007/s10661-019-7412-5
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J.M., Navas, M.A., Culqui, D., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C., 2021. Evolution of the threshold temperature definition of a heat wave vs. evolution of the minimum mortality temperature: a case study in Spain during the 1983–2018 period. Environmental Sciences Europe 33, 101. https://doi.org/10.1186/s12302-021-00542-7
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Padrón-Monedero, A., Martín, M.A.N., Linares, C., 2023. Short-term impact of extreme temperatures, relative humidity and air pollution on emergency hospital admissions due to kidney disease and kidney-related conditions in the Greater Madrid area (Spain). Science of The Total Environment 903, 166646. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166646
- López-Bueno, J.A., Díaz, J., Sánchez-Guevara, C., Sánchez-Martínez, G., Franco, M., Gullón, P., Núñez Peiró, M., Valero, I., Linares, C., 2020. The impact of heat waves on daily mortality in districts in Madrid: The effect of sociodemographic factors. Environmental Research 190, 109993. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109993
- López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Díaz, J., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2022. Analysis of vulnerability to heat in rural and urban areas in Spain: What factors explain Heat's geographic behavior? Environmental Research 207, 112213. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112213
- Loroño, A., Markandya, A., Sainz de Murieta, E., 2025. Assessing the economic impact of heat-related mortality under climate change in 329 European regions (No. D2.3 Impacts on Health and Wellbeing), Deliverable of the ACCREU project.
- Lou, J., Wu, Y., Liu, P., Kota, S.H., Huang, L., 2019. Health Effects of Climate Change Through Temperature and Air Pollution. Curr Pollution Rep 5, 144–158. https://doi.org/10.1007/s40726-019-00112-9
- Lowe, S.R., Bonumwezi, J.L., Valdespino-Hayden, Z., Galea, S., 2019. Posttraumatic Stress and Depression in the Aftermath of Environmental Disasters: A Review of Quantitative Studies Published in 2018. Curr Envir Health Rpt 6, 344–360. https://doi.org/10.1007/s40572-019-00245-5
- Lucas, R.A.I., Epstein, Y., Kjellstrom, T., 2014. Excessive occupational heat exposure: a significant ergonomic challenge and health risk for current and future workers. Extreme Physiology & Medicine 3, 14. https://doi.org/10.1186/2046-7648-3-14
- Madrigano, J., Lane, K., Petrovic, N., Ahmed, M., Blum, M., Matte, T., 2018. Awareness, Risk Perception, and Protective Behaviors for Extreme Heat and Climate Change in New York City. International Journal of Environmental Research and Public Health 15, 1433. https://doi.org/10.3390/ijerph15071433
- Magallanes, S., Llorente, F., Ruiz-López, M.J., la Puente, J.M., Ferraguti, M., Gutiérrez-López, R., Soriguer, R., Aguilera-Sepúlveda, P., Fernández-Delgado, R., Jímenez-Clavero, M.Á., Figuerola, J., 2024. Warm winters are associated to more intense West Nile virus circulation in southern Spain. Emerg Microbes Infect 2348510. https://doi.org/10.1080/22221751.2024.2348510

- Marí-Dell'Olmo, M., Oliveras, L., Barón-Miras, L.E., Borrell, C., Montalvo, T., Ariza, C., Ventayol, I., Mercuriali, L., Sheehan, M., Gómez-Gutiérrez, A., Villalbí, J.R., 2022. Climate Change and Health in Urban Areas with a Mediterranean Climate: A Conceptual Framework with a Social and Climate Justice Approach. International Journal of Environmental Research and Public Health 19, 12764. https://doi.org/10.3390/ijerph191912764
- Markandya, A., Loroño, A., Sainz de Murieta, E., 2025. The economic consequences of climate-induced heat-related morbidity in Europe (No. D2.3 Impacts on Health and Wellbeing), Deliverable of the ACCREU project.
- Markandya, A., Sampedro, J., Smith, S.J., Dingenen, R.V., Pizarro-Irizar, C., Arto, I., González-Eguino, M., 2018. Health co-benefits from air pollution and mitigation costs of the Paris Agreement: a modelling study. The Lancet Planetary Health 2, e126–e133. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30029-9
- Martin, K., McLeod, E., Périard, J., Rattray, B., Keegan, R., Pyne, D.B., 2019. The Impact of Environmental Stress on Cognitive Performance: A Systematic Review. Hum Factors 61, 1205–1246. https://doi.org/10.1177/0018720819839817
- Martínez-Solanas, È., Basagaña, X., 2019. Temporal changes in the effects of ambient temperatures on hospital admissions in Spain. PLOS ONE 14, e0218262. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218262
- Martínez-Solanas, È., López-Ruiz, M., Wellenius, G.A., Gasparrini, A., Sunyer, J., Benavides, F.G., Basagaña, X., 2018. Evaluation of the Impact of Ambient Temperatures on Occupational Injuries in Spain. Environmental Health Perspectives 126, 067002. https://doi.org/10.1289/EHP2590
- Martin-Moreno, J.M., Garcia-Lopez, E., Guerrero-Fernandez, M., Alfonso-Sanchez, J.L., Barach, P., 2025. Devastating "DANA" Floods in Valencia: Insights on Resilience, Challenges, and Strategies Addressing Future Disasters. Public Health Rev. 46, 1608297. https://doi.org/10.3389/phrs.2025.1608297
- McKenzie, J.W., Longman, J.M., Bailie, R., Braddon, M., Morgan, G.G., Jegasothy, E., Bennett-Levy, J., 2022. Insurance Issues as Secondary Stressors Following Flooding in Rural Australia—A Mixed Methods Study. International Journal of Environmental Research and Public Health 19, 6383. https://doi.org/10.3390/ijerph19116383
- Meade, R.D., Notley, S.R., Akerman, A.P., McCormick, J.J., King, K.E., Sigal, R.J., Kenny, G.P., 2023. Efficacy of Cooling Centers for Mitigating Physiological Strain in Older Adults during Daylong Heat Exposure: A Laboratory-Based Heat Wave Simulation. Environmental Health Perspectives 131, 067003. https://doi.org/10.1289/EHP11651
- Moreno-Jiménez, A., Cañada-Torrecilla, R., Vidal-Domínguez, M.J., Palacios-García, A., Martínez-Suárez, P., 2016. Assessing environmental justice through potential exposure to air pollution: A socio-spatial analysis in Madrid and Barcelona, Spain. Geoforum 69, 117–131. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.12.008
- Mostafizur Rahman, M., Alam Shobuj, I., Tanvir Hossain, M., Tasnim, F., 2023. Impact of Disaster on mental health of women: A case study on 2022 flash flood in Bangladesh. International Journal of Disaster Risk Reduction 96, 103935. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103935
- Narocki, C., 2021. Heatwaves as an occupational hazard: the impact of heat and heatwaves on workers' health, safety and wellbeing and on social inequalities, Report / European Trade Union Institute. European Trade Union Institute, Brussels, Belgium.
- Nasri, R.I., Seniwati, T., Ilkafah, Erfina, E., 2020. Screening of post-traumatic stress disorder (PTSD) among flood victims in Indonesia. Enfermería Clínica, International Conference on Women and Societal Perspective on Quality of Life (WOSQUAL-2019) 30, 345–349. https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2019.07.115

- Navas-Martín, M.A., López-Bueno, J.A., Ascaso-Sánchez, M.S., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Linares, C., Díaz, J., 2023a. Heat Adaptation among the Elderly in Spain (1983–2018). International Journal of Environmental Research and Public Health 20, 1314. https://doi.org/10.3390/ijerph20021314
- Navas-Martín, M.A., López-Bueno, J.A., Ascaso-Sánchez, M.S., Sarmiento-Suárez, R., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, M.Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., Díaz, J., 2022a. Gender differences in adaptation to heat in Spain (1983–2018). Environmental Research 215, 113986. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113986
- Navas-Martín, M.A., López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I., Luna, M., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., 2022b. Effects of local factors on adaptation to heat in Spain (1983–2018). Environmental Research 209, 112784. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112784
- Navas-Martín, M.A., López-Bueno, J.A., Follos, F., Vellón, J.M., Mirón, I.J., Luna, Y., Sánchez-Martínez, G., Díaz-Jiménez, J., Linares-Gil, C., 2023b. La adaptación al calor y las desigualdades sociales en salud en función del género, la edad y el territorio: Revisión de estudios en España (1983-2018). Adaptation to Heat and Social Health Inequalities according to Gender, Age and Territory: A Review of Studies Conducted in Spain (1983-2018).
- Olcina, J., Mínguez, M.D.C., Villar Navascués, R., Martín-Vide, J., Silva Lopes, H., Blázquez Salom, M., 2025. Refugios climáticos en España: lectura crítica de un equipamiento urbano para el turismo estival. invest. tur 1–25. https://doi.org/10.14198/INTURI.28551
- O'Lenick, C.R., Wilhelmi, O.V., Michael, R., Hayden, M.H., Baniassadi, A., Wiedinmyer, C., Monaghan, A.J., Crank, P.J., Sailor, D.J., 2019. Urban heat and air pollution: A framework for integrating population vulnerability and indoor exposure in health risk analyses. Science of The Total Environment 660, 715–723. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.002
- OMS, 2015. Operational framework for building climate resilient health systems. Organización Mundial de la Salud, Geneva.
- Orru, H., Åström, C., Andersson, C., Tamm, T., Ebi, K.L., Forsberg, B., 2019. Ozone and heat-related mortality in Europe in 2050 significantly affected by changes in climate, population and greenhouse gas emission. Environ. Res. Lett. 14, 074013. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1cd9
- Park, C.-E., Jeong, S., Harrington, L.J., Lee, M.-I., Zheng, C., 2020. Population ageing determines changes in heat vulnerability to future warming. Environ. Res. Lett. 15, 114043. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbd60
- Planas-Carbonell, A., Anguelovski, I., Oscilowicz, E., Pérez-del-Pulgar, C., Shokry, G., 2023. From greening the climate-adaptive city to green climate gentrification? Civic perceptions of short-lived benefits and exclusionary protection in Boston, Philadelphia, Amsterdam and Barcelona. Urban Climate 48, 101295. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101295
- Portillo, A., Ruiz-Arrondo, I., Oteo, J.A., 2018. Arthropods as vectors of transmissible diseases in Spain. Medicina Clínica (English Edition) 151, 450–459. https://doi.org/10.1016/j.medcle.2018.10.008
- Proust, K., Newell, B., Brown, H., Capon, A., Browne, C., Burton, A., Dixon, J., Mu, L., Zarafu, M., 2012. Human Health and Climate Change: Leverage Points for Adaptation in Urban Environments. International Journal of Environmental Research and Public Health 9, 2134–2158. https://doi.org/10.3390/ijerph9062134

- Rodriguez-Álvarez, A., 2021. Air pollution and life expectancy in Europe: Does investment in renewable energy matter? Science of The Total Environment 792, 148480. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148480
- Rohat, G., Flacke, J., Dosio, A., Pedde, S., Dao, H., van Maarseveen, M., 2019. Influence of changes in socioeconomic and climatic conditions on future heat-related health challenges in Europe. Global and Planetary Change 172, 45–59. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.09.013
- Romanello, M., Napoli, C. di, Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Walawender, M., Ali, Z., Ameli, N., Ayeb-Karlsson, S., Beggs, P.J., Belesova, K., Ford, L.B., Bowen, K., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., Cross, T.J., Daalen, K.R. van, Dalin, C., Dasandi, N., Dasgupta, S., Davies, M., Dominguez-Salas, P., Dubrow, R., Ebi, K.L., Eckelman, M., Ekins, P., Freyberg, C., Gasparyan, O., Gordon-Strachan, G., Graham, H., Gunther, S.H., Hamilton, I., Hang, Y., Hänninen, R., Hartinger, S., He, K., Heidecke, J., Hess, J.J., Hsu, S.-C., Jamart, L., Jankin, S., Jay, O., Kelman, I., Kiesewetter, G., Kinney, P., Kniveton, D., Kouznetsov, R., Larosa, F., Lee, J.K.W., Lemke, B., Liu, Y., Liu, Z., Lott, M., Batista, M.L., Lowe, R., Sewe, M.O., Martinez-Urtaza, J., Maslin, M., McAllister, L., McMichael, C., Mi, Z., Milner, J., Minor, K., Minx, J.C., Mohajeri, N., Momen, N.C., Moradi-Lakeh, M., Morrissey, K., Munzert, S., Murray, K.A., Neville, T., Nilsson, M., Obradovich, N., O'Hare, M.B., Oliveira, C., Oreszczyn, T., Otto, M., Owfi, F., Pearman, O., Pega, F., Pershing, A., Rabbaniha, M., Rickman, J., Robinson, E.J.Z., Rocklöv, J., Salas, R.N., Semenza, J.C., Sherman, J.D., Shumake-Guillemot, J., Silbert, G., Sofiev, M., Springmann, M., Stowell, J.D., Tabatabaei, M., Taylor, J., Thompson, R., Tonne, C., Treskova, M., Trinanes, J.A., Wagner, F., Warnecke, L., Whitcombe, H., Winning, M., Wyns, A., Yglesias-González, M., Zhang, S., Zhang, Y., Zhu, Q., Gong, P., Montgomery, H., Costello, A., 2023. The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. The Lancet 402, 2346–2394. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)01859-7
- Rufat, S., Botzen, W.J.W., 2022. Drivers and dimensions of flood risk perceptions: Revealing an implicit selection bias and lessons for communication policies. Global Environmental Change 73, 102465. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102465
- Ruiz-Páez, R., Díaz, J., López-Bueno, J.A., Navas, M.A., Mirón, I.J., Martínez, G.S., Luna, M.Y., Linares, C., 2023. Does the meteorological origin of heat waves influence their impact on health? A 6-year morbidity and mortality study in Madrid (Spain). Science of The Total Environment 855, 158900. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158900
- Ruiz-Páez, R., López-Bueno, J.A., Padrón-Monedero, A., Navas, M.A., Salvador, P., Linares, C., Díaz, J., 2024. Short-term effects of fine particulate matter from biomass combustion and Saharan dust intrusions on emergency hospital admissions due to mental and behavioural disorders, anxiety and depression in Spain. Science of The Total Environment 946, 174316. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174316
- Salmond, J.A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K.N., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R.N., Wheeler, B.W., 2016. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. Environmental Health 15, 95–111. https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6
- Salvador, C., Gullón, P., Franco, M., Vicedo-Cabrera, A.M., 2023. Heat-related first cardiovascular event incidence in the city of Madrid (Spain): Vulnerability assessment by demographic, socioeconomic, and health indicators. Environmental Research 226, 115698. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115698
- Sandifer, P.A., Walker, A.H., 2018. Enhancing Disaster Resilience by Reducing Stress-Associated Health Impacts. Front. Public Health 6. https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00373

- Santamouris, M., Kolokotsa, D., 2015. On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe. Energy and Buildings, Renewable Energy Sources and Healthy Buildings 98, 125–133. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.050
- Santurtún, A., Moraes, S.L., Fdez-Arroyabe, P., Obregón, M., Almendra, R., 2023. Descriptive analysis of occupational accidents in Spain and their relationship with heatwaves. Preventive Medicine 175, 107697. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2023.107697
- Ščasný, M., Massetti, E., Melichar, J., Carrara, S., 2015. Quantifying the Ancillary Benefits of the Representative Concentration Pathways on Air Quality in Europe. Environ Resource Econ 62, 383–415. https://doi.org/10.1007/s10640-015-9969-y
- Schinasi, L.H., Bloch, J.R., Melly, S., Zhao, Y., Moore, K., De Roos, A.J., 2020. High Ambient Temperature and Infant Mortality in Philadelphia, Pennsylvania: A Case–Crossover Study. Am J Public Health 110, 189–195. https://doi.org/10.2105/AJPH.2019.305442
- Schipper, E.L.F., 2022. Catching maladaptation before it happens. Nat. Clim. Chang. 12, 617–618. https://doi.org/10.1038/s41558-022-01409-2
- Schmitt, L.H.M., Graham, H.M., White, P.C.L., 2016. Economic Evaluations of the Health Impacts of Weather-Related Extreme Events: A Scoping Review. International Journal of Environmental Research and Public Health 13, 1105. https://doi.org/10.3390/ijerph13111105
- Schulte, F., Röösli, M., Ragettli, M.S., 2021. Heat-related cardiovascular morbidity and mortality in Switzerland: a clinical perspective. Swiss Med Wkly 151, w30013. https://doi.org/10.4414/SMW.2021.w30013
- Sellers, S., Ebi, K.L., 2018. Climate Change and Health under the Shared Socioeconomic Pathway Framework. International Journal of Environmental Research and Public Health 15, 3. https://doi.org/10.3390/ijerph15010003
- Semenza, J.C., Menne, B., 2009. Climate change and infectious diseases in Europe. The Lancet Infectious Diseases 9, 365–375. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70104-5
- Sera, F., Hashizume, M., Honda, Y., Lavigne, E., Schwartz, J., Zanobetti, A., Tobias, A., Iñiguez, C., Vicedo-Cabrera, A.M., Blangiardo, M., Armstrong, B., Gasparrini, A., 2020. Air Conditioning and Heat-related Mortality: A Multi-country Longitudinal Study. Epidemiology 31, 779–787. https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000001241
- Seto, K.C., Davis, S.J., Mitchell, R.B., Stokes, E.C., Unruh, G., Ürge-Vorsatz, D., 2016. Carbon Lock-In: Types, Causes, and Policy Implications. Annual Review of Environment and Resources 41, 425–452. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085934
- Sheehan, M.C., 2022. 2021 Climate and Health Review – Uncharted Territory: Extreme Weather Events and Morbidity. Int J Health Serv 52, 189–200. https://doi.org/10.1177/00207314221082452
- Sheehan, M.C., Khudairi, F., Swaich, G.S., Hines, W., Mehta, S., Fox, M.A., 2022. Urban climate-health governance: Charting the role of public health in large global city adaptation plans. PLOS Climate 1, e0000012. https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000012
- Silver, B., Arnold, S.R., Reddington, C.L., Emmons, L.K., Conibear, L., 2024. Large transboundary health impact of Arctic wildfire smoke. Commun Earth Environ 5, 199. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01361-3

- Singh, N., Singh, S., Mall, R.K., 2020. Urban ecology and human health: implications of urban heat island, air pollution and climate change nexus, in: Verma, P., Singh, P., Singh, R., Raghubanshi, A.S. (Eds.), Urban Ecology. Elsevier, pp. 317–334. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00017-3
- Smith, E.F., Keys, N., Lieske, S.N., Smith, T.F., 2015. Assessing Socio-Economic Vulnerability to Climate Change Impacts and Environmental Hazards in New South Wales and Queensland, Australia. Geographical Research 53, 451–465. https://doi.org/10.1111/1745-5871.12137
- Soares, J., Plass, D., Kienzler, S., González Ortiz, A., Gsella, A., Horálek, J., 2023. Health Risk Assessment of Air Pollution: assessing the environmental burden of disease in Europe in 2021 (Eionet Report No. ETC HE 2023/7). European Topic Centre on Human Health and the Environment.
- Srinivasan, S., O'Fallon, L.R., Dearry, A., 2003. Creating Healthy Communities, Healthy Homes, Healthy People: Initiating a Research Agenda on the Built Environment and Public Health. Am J Public Health 93, 1446–1450. https://doi.org/10.2105/AJPH.93.9.1446
- Szewczyk, W., Ciscar, J.C., Mongelli, I., Soria, A., 2018. Economic integration and spillover analysis (JRC PESETA III project). Publications Office of the European Union.
- Szewczyk, W., Mongelli, I., Ciscar, J.-C., 2021. Heat stress, labour productivity and adaptation in Europe—a regional and occupational analysis. Environ. Res. Lett. 16, 105002. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac24cf
- Tarín-Carrasco, P., Im, U., Geels, C., Palacios-Peña, L., Jiménez-Guerrero, P., 2021. Contribution of fine particulate matter to present and future premature mortality over Europe: A non-linear response. Environment International 153, 106517. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106517
- Tejedor, E., Benito, G., Serrano-Notivoli, R., González-Rouco, F., Esper, J., Büntgen, U., 2024. Recent heatwaves as a prelude to climate extremes in the western Mediterranean region. npj Clim Atmos Sci 7, 218. https://doi.org/10.1038/s41612-024-00771-6
- Thomas, K., Hardy, R.D., Lazrus, H., Mendez, M., Orlove, B., Rivera-Collazo, I., Roberts, J.T., Rockman, M., Warner, B.P., Winthrop, R., 2019. Explaining differential vulnerability to climate change: A social science review. WIREs Climate Change 10, e565. https://doi.org/10.1002/wcc.565
- Thompson, R., Hornigold, R., Page, L., Waite, T., 2018. Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review. Public Health, Special issue on Health and high temperatures 161, 171–191. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.06.008
- Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gollop, A., Frank, J.M., 2010. Climate change and food safety: A review. Food Research International, Climate Change and Food Science 43, 1745–1765. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.003
- Toloo, G., FitzGerald, G., Aitken, P., Verrall, K., Tong, S., 2013. Evaluating the effectiveness of heat warning systems: systematic review of epidemiological evidence. Int J Public Health 58, 667–681. https://doi.org/10.1007/s00038-013-0465-2
- Torrego-Gómez, D., Gayoso-Heredia, M., Núñez-Peiró, M., Sánchez-Guevara, C., 2024. Mapping summer energy poverty: The lived experience of older adults in Madrid, Spain. Energy Research & Social Science 110, 103449. https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103449
- Tuholske, C., Caylor, K., Funk, C., Verdin, A., Sweeney, S., Grace, K., Peterson, P., Evans, T., 2021. Global urban population exposure to extreme heat. Proceedings of the National Academy of Sciences 118, e2024792118. https://doi.org/10.1073/pnas.2024792118

- Tuomimaa, J., Käyhkö, J., Juhola, S., Räsänen, A., 2023. Developing adaptation outcome indicators to urban heat risks. Climate Risk Management 41, 100533. https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100533
- Turner, L.R., Barnett, A.G., Connell, D., Tong, S., 2012. Ambient temperature and cardiorespiratory morbidity: a systematic review and meta-analysis. Epidemiology 23, 594–606. https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3182572795
- Van Daalen, K.R., Romanello, M., Rocklöv, J., Semenza, J.C., Tonne, C., Markandya, A., Dasandi, N., Jankin, S., Achebak, H., Ballester, J., Bechara, H., Callaghan, M.W., Chambers, J., Dasgupta, S., Drummond, P., Farooq, Z., Gasparyan, O., Gonzalez-Reviriego, N., Hamilton, I., Hänninen, R., Kazmierczak, A., Kendrovski, V., Kennard, H., Kiesewetter, G., Lloyd, S.J., Lotto Batista, M., Martinez-Urtaza, J., Milà, C., Minx, J.C., Nieuwenhuijsen, M., Palamarchuk, J., Quijal-Zamorano, M., Robinson, E.J.Z., Scamman, D., Schmoll, O., Sewe, M.O., Sjödin, H., Sofiev, M., Solaraju-Murali, B., Springmann, M., Triñanes, J., Anto, J.M., Nilsson, M., Lowe, R., 2022. The 2022 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change: towards a climate resilient future. The Lancet Public Health 7, e942–e965. https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00197-9
- van Daalen, K.R., Tonne, C., Semenza, J.C., Rocklöv, J., Markandya, A., Dasandi, N., Jankin, S., Achebak, H., Ballester, J., Bechara, H., Beck, T.M., Callaghan, M.W., Carvalho, B.M., Chambers, J., Pradas, M.C., Courtenay, O., Dasgupta, S., Eckelman, M.J., Farooq, Z., Fransson, P., Gallo, E., Gasparyan, O., Gonzalez-Reviriego, N., Hamilton, I., Hänninen, R., Hatfield, C., He, K., Kazmierczak, A., Kendrovski, V., Kennard, H., Kiesewetter, G., Kouznetsov, R., Kriit, H.K., Llabrés-Brustenga, A., Lloyd, S.J., Batista, M.L., Maia, C., Martinez-Urtaza, J., Mi, Z., Milà, C., Minx, J.C., Nieuwenhuijsen, M., Palamarchuk, J., Pantera, D.K., Quijal-Zamorano, M., Rafaj, P., Robinson, E.J.Z., Sánchez-Valdivia, N., Scamman, D., Schmoll, O., Sewe, M.O., Sherman, J.D., Singh, P., Sirotkina, E., Sjödin, H., Sofiev, M., Solaraju-Murali, B., Springmann, M., Treskova, M., Triñanes, J., Vanuytrecht, E., Wagner, F., Walawender, M., Warnecke, L., Zhang, R., Romanello, M., Antó, J.M., Nilsson, M., Lowe, R., 2024. The 2024 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change: unprecedented warming demands unprecedented action. The Lancet Public Health 9, e495–e522. https://doi.org/10.1016/S2468-2667(24)00055-0
- Van Tol, Z., Vanos, J.K., Middel, A., Ferguson, K.M., 2024. Concurrent Heat and Air Pollution Exposures among People Experiencing Homelessness. Environmental Health Perspectives 132, 015003. https://doi.org/10.1289/EHP13402
- Vandekerckhove, O., De Buck, E., Van Wijngaerden, E., 2021. Lyme disease in Western Europe: an emerging problem? A systematic review. Acta Clinica Belgica 76, 244–252. https://doi.org/10.1080/17843286.2019.1694293
- Vandyck, T., Ebi, K.L., Green, D., Cai, W., Vardoulakis, S., 2022. Climate change, air pollution and human health. Environ. Res. Lett. 17, 100402. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac948e
- Vedrenne, M., Borge, R., Lumbreras, J., Conlan, B., Rodríguez, M.E., de Andrés, J.M., de la Paz, D., Pérez, J., Narros, A., 2015. An integrated assessment of two decades of air pollution policy making in Spain: Impacts, costs and improvements. Science of The Total Environment 527–528, 351–361. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.014

- Vicedo-Cabrera, A.M., Scovronick, N., Sera, F., Royé, D., Schneider, R., Tobias, A., Astrom, C., Guo, Y., Honda, Y., Hondula, D.M., Abrutzky, R., Tong, S., Coelho, M. de S.Z.S., Saldiva, P.H.N., Lavigne, E., Correa, P.M., Ortega, N.V., Kan, H., Osorio, S., Kyselý, J., Urban, A., Orru, H., Indermitte, E., Jaakkola, J.J.K., Ryti, N., Pascal, M., Schneider, A., Katsouyanni, K., Samoli, E., Mayvaneh, F., Entezari, A., Goodman, P., Zeka, A., Michelozzi, P., de'Donato, F., Hashizume, M., Alahmad, B., Diaz, M.H., Valencia, C.D.L.C., Overcenco, A., Houthuijs, D., Ameling, C., Rao, S., Di Ruscio, F., Carrasco-Escobar, G., Seposo, X., Silva, S., Madureira, J., Holobaca, I.H., Fratianni, S., Acquaotta, F., Kim, H., Lee, W., Iniguez, C., Forsberg, B., Ragettli, M.S., Guo, Y.L.L., Chen, B.Y., Li, S., Armstrong, B., Aleman, A., Zanobetti, A., Schwartz, J., Dang, T.N., Dung, D.V., Gillett, N., Haines, A., Mengel, M., Huber, V., Gasparrini, A., 2021. The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. Nat. Clim. Chang. 11, 492–500. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x

- Viegas, S., Almeida Santos, J., Kazmierczak, A., Assunção, R., Viegas, C., Martins, C., 2023. Training on the Impact of Climate Change on Public Health: Reflections and Lessons Learnt. Portuguese Journal of Public Health 41, 230–234. https://doi.org/10.1159/000533973

- Vielma, C., Achebak, H., Quijal-Zamorano, M., Lloyd, S.J., Chevance, G., Ballester, J., 2024. Association between temperature and occupational injuries in Spain: The role of contextual factors in workers' adaptation. Environment International 192, 109006. https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109006

- Weilnhammer, V., Schmid, J., Mittermeier, I., Schreiber, F., Jiang, L., Pastuhovic, V., Herr, C., Heinze, S., 2021. Extreme weather events in europe and their health consequences - A systematic review. Int J Hyg Environ Health 233, 113688. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113688

- Weitzman, M.L., 2011. Fat-Tailed Uncertainty in the Economics of Catastrophic Climate Change. Rev Environ Econ Policy 5, 275–292. https://doi.org/10.1093/reep/rer006

- Workman, A., Blashki, G., Bowen, K.J., Karoly, D.J., Wiseman, J., 2019. Health co-benefits and the development of climate change mitigation policies in the European Union. Climate Policy 19, 585–597. https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1544541

- Yu, W., Vaneckova, P., Mengersen, K., Pan, X., Tong, S., 2010. Is the association between temperature and mortality modified by age, gender and socio-economic status? Science of The Total Environment 408, 3513–3518. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.058

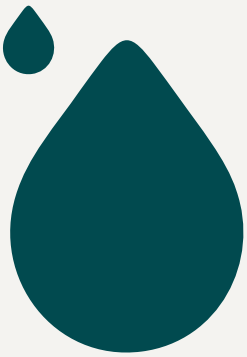
- Zavala, M.D., Cejas, C., Rubinstein, A., Lopez, A., 2024. Gender Inequities in the Impact of Climate Change on Health: A Scoping Review. International Journal of Environmental Research and Public Health 21, 1093. https://doi.org/10.3390/ijerph21081093

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Agua
y recursos hídricos



GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autores: Raquel Gómez-Beas (Universidad de Córdoba), Eva Contreras (Universidad de Córdoba), María José Polo (Universidad de Córdoba), Rafael Pimentel (Universidad de Córdoba)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Gómez-Beas, R., Contreras, E., Polo, M.J. y Pimentel, R. (2025) Agua y recursos hídricos. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. **Aspectos metodológicos y contenido del capítulo** / pág. 303

2. **Introducción** / pág. 305

3. **Riesgos relevantes del sector agua y recursos hídricos** / pág. 308

   3.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración / pág. 315

   3.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales / pág. 316

   3.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes. / pág. 318

   3.4. Riesgo para la seguridad funcional de las infraestructuras hidráulicas por fenómenos meteorológicos extremos / pág. 320

   3.5. Riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivado de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua / pág. 322

4. **Riesgos clave** / pág. 325

   4.1. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración / pág. 326

   4.2. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales / pág. 339

   4.3. RC2.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes / pág. 354

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 370

6. Caso de estudio / pág. 374

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 376

8. Referencias / pág. 378

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Agua y Recursos Hídricos de la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevado a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos y riesgos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos**. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

El agua es un bien fundamental en nuestro planeta que utilizamos como un recurso para nuestro desarrollo como sociedad. Este capítulo aborda los riesgos que el cambio climático plantea en la gestión de ese recurso. En España, los Organismos de Cuenca son responsables de esta gestión. En los Planes Hidrológicos de Cuenca (PHC), aprobados en cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas, se establece un orden de prioridad en la satisfacción de las demandas de los diferentes usos consuntivos[3] del agua. En el último informe de seguimiento de los PHC (MITECO, 2021a), se pone de manifiesto que la demanda anual de agua para estos usos en España es aproximadamente de 32.000 hm^3/año. En términos medios en toda España, del volumen total de agua el 80,6 % se destina a usos agrarios, el 15,4 % a abastecimiento, el 3,4 % a uso industrial y un 0,6 % a otros usos. En su mayor parte, en un 71,6 %, los recursos hídricos son de origen superficial[4], representando un 23,1 % los de origen subterráneo, un 2,8 % procede de otros recursos no convencionales (reutilización y desalación) y el 2,5 % restante procede de transferencias entre cuencas.

Esta distribución heterogénea se repite cuando se comparan estos porcentajes por demarcaciones. Por un lado, los usos del agua varían según el territorio, y por otro, la variabilidad climática, hace que nuestro principal aporte de agua, la precipitación, se distribuya de manera heterogénea. Esta variabilidad no es exclusivamente espacial, sino también temporal. Las características intrínsecas de algunos de los climas peninsulares, especialmente el mediterráneo, provocan una alternancia clara entre años secos y húmedos, o que la distribución de la precipitación se concentre en eventos muy intensos, a veces de carácter torrencial. De mismo modo, la presencia de nieve en las cuencas de cabecera de los ríos de montaña y su correspondiente fusión hace que esta distribución sea aún más variable (MITECO, 2021b).

Históricamente, nuestra sociedad ha sabido adaptarse a esta variabilidad. En especial durante el siglo XX, el desarrollo de infraestructuras hidráulicas, principalmente embalses - en término

[3] Aquellos que implican una extracción o consumo del agua, para abastecimiento, regadío, industria o acuicultura. La normativa española, a través del Real Decreto Legislativo 1/2001 (Texto Refundido de la Ley de Aguas) y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, regula estos usos para asegurar su conservación.

[4] Las masas de agua, de acuerdo con lo previsto en el anejo II de la Directiva Marco del Agua y la Sección Segunda, del capítulo I del título 1º del Reglamento de la Planificación Hidrológica, se clasifican en los siguientes tipos: a) "Masa de agua subterránea": un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos. b) "Masa de agua superficial": una parte diferenciada y significativa de aguas superficiales, como un lago, un embalse, una corriente, río, torrente o canal, parte de una corriente, río, torrente o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras.

medio aproximadamente el 70 % de la capacidad de los embalses se dedica a satisfacer estos usos consuntivos del agua (MIMAM, 2000) - ha facilitado disponer de agua en épocas de precipitaciones escasas, lo que ha permitido en un gran número de ocasiones satisfacer las demandas y fomentado el desarrollo de una economía centrada en el uso del agua. Estos embalses han ayudado también a la laminación[5] de avenidas fluviales, evitando inundaciones. Además, el desarrollo de otras infraestructuras hidráulicas de captación y distribución ha permitido hacer accesible el recurso agua a toda la población, impulsando el progreso socioeconómico.

Desde el año 2000 con la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (DMA) (EC, 2000), los Organismos de Cuenca deben, además de gestionar las demandas, garantizar el buen estado de las masas de agua. Es decir, la gestión de recursos hídricos pasa a integrar aspectos cualitativos. En esta materia, a lo largo de los sucesivos ciclos de planificación, España ha mejorado su capacidad de diagnóstico incrementando el número de puntos de seguimiento y ha progresado en la mejora del estado de las masas de agua[6]. Según el informe sobre los planes del tercer ciclo hidrológico (EC, 2025) en 2021, el número total de masas de agua superficial en buen estado ecológico y químico era del 58 % y 90 %, respectivamente, mientras que el número de masas de agua subterránea en buen estado cuantitativo y químico era del 75 % y 67 %, respectivamente.

En la actualidad, en este contexto de gestión, hay que añadir también el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos. España es uno de los países de la Unión Europea más afectados por estos cambios (ESPON, 2011; Hu y Hewitt, 2024). El informe CLIVAR (MITECO, 2024) hace una revisión de los cambios observados en el clima peninsular durante las dos últimas décadas y de los escenarios de cambio futuro sobre los mismos. Estos cambios están íntimamente relacionados con los peligros climáticos que afectan al sector del agua: (i) la aparición de cambios en los patrones de distribución de la precipitación, (ii) la reducción de la precipitación media anual, (iii) el aumento de la torrencialidad de la precipitación, (iv) el aumento de la temperatura (del aire, suelo, vegetación y agua) y, (v) la alteración de la dinámica de fusión de la capa de nieve.

Todos estos peligros climáticos implicarían la intensificación o aparición de nuevos riesgos asociados a los que hacer frente desde el punto de vista de la gestión de los recursos hídricos. Por ejemplo, las sequías extremas serán más frecuentes, al igual que las inundaciones, y habrá un aumento de la presión sobre los usos de los recursos hídricos (Gómez y Maestu, 2023; Vargas y

[5] La laminación de avenidas mediante embalses es una técnica de ingeniería hidráulica que reduce el impacto de las crecidas de un río al almacenar el exceso de agua en el embalse, liberándola de forma controlada y progresiva.

[6] El buen estado de las masas de aguas superficiales implica que tanto el estado ecológico como el estado químico sean al menos “buenos”, mientras que en masas de aguas subterráneas, implica que tanto el estado cuantitativo como el estado químico sean al menos “buenos”.

Paneque, 2019), con consecuencias socioeconómicas y políticas (Estrela y Vargas, 2012), y un impacto medioambiental directo asociado a una posible pérdida de biodiversidad (Vargas-Amelin y Pindado, 2014). En la última década en España se ha evolucionado hacia una sociedad más consciente de la realidad y los riesgos del cambio climático (Meira *et al*., 2021), hasta el punto en el que el Gobierno de España declaró el estado de emergencia climática a principios del año 2020. Prueba de ello es que, ya en los planes hidrológicos del segundo ciclo, 2015-2021, aparecían por primera vez aspectos relacionados con el cambio climático. En esta línea, en 2022 se aprobaron las *Orientaciones estratégicas sobre el agua y el cambio climático*, como mandato del artículo 19 de la Ley de cambio climático y transición energética, con el propósito de definir las directrices y actuaciones necesarias en la planificación y gestión del agua en España, reconociendo que la adaptación al cambio climático debe guiar la transformación del sector hacia un modelo más resiliente y sostenible.

El análisis llevado a cabo en este capítulo y la consiguiente definición de los riesgos se centran en los aspectos más relevantes para el sector. Así, desde el punto de vista de la *cantidad* de recursos disponibles se analizan riesgos asociados a disponer de poca agua o demasiada agua, generalmente concentrada en eventos de carácter torrencial; desde el punto de vista de la *calidad* se evalúan los riesgos asociados a disponer de agua en condiciones de calidad no óptimas para su consumo; desde el punto de vista de su *uso* se analizan los riesgos asociados al reparto de recursos hídricos entre los diferentes usos del agua; desde el punto de vista de las *infraestructuras hidráulicas*, se analiza su posible afección y daños, y, por último desde el punto de vista de los *ecosistemas* se analizan los riesgos asociados al patrimonio natural y la biodiversidad.

Es necesario señalar que el sector Agua y recursos hídricos está estrechamente relacionado con muchos de los sectores analizados generando efectos en cascada, que se abordarán con más detalle en cada uno de los capítulos específicos de cada sector.

3. Riesgos relevantes del sector agua y recursos hídricos

Los riesgos definidos como relevantes en la metodología desarrollada en este informe son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas, pudiendo llegar a afectar negativamente la operatividad, rentabilidad y sostenibilidad social y económica de un determinado sector. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre tres componentes: peligros climáticos, exposición y vulnerabilidad, que pueden variar en el tiempo y el espacio debido a las características fisiográficas de la zona en la que ocurren, a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas (Reisinger *et al.*, 2020).

Los principales **peligros climáticos** en el sector agua y recursos hídricos están relacionados con las variaciones en precipitación y temperatura, exacerbadas por los efectos del cambio climático (Ranasinghe *et al.*, 2021). Las proyecciones climáticas sobre España muestran que los cambios en estos peligros están relacionados con (**Figura 1**):

- **Cambios en los patrones de distribución de la precipitación:** se prevén variaciones estacionales diferentes dependiendo del tipo de clima, con una disminución general de las precipitaciones de abril a junio en climas más áridos y de septiembre a junio en el caso de climas más húmedos (Barriendos *et al.*, 2019; Del Jesús y Díez-Sierra, 2023). Estos cambios implicarían variaciones en el reparto de flujos dentro del ciclo hidrológico. Es decir, el reparto actual de la precipitación en escorrentía e infiltración se vería alterado. Este cambio en la distribución supone un nuevo escenario para la gestión de recursos hídricos con nuevos desacoples entre la disponibilidad de agua y su uso (de Luis *et al.*, 2010; Miró *et al.*, 2018).

- **La reducción de la precipitación media anual:** de manera general se prevé que la precipitación media anual disminuya a lo largo del siglo XXI en la península, con las consecuentes implicaciones en el aumento de los periodos de sequía (MITECO, 2024; Vicente-Serrano *et al.*, 2014).

- **El aumento de la torrencialidad de la precipitación:** se prevé que los eventos extremos de lluvias sean mayores, más frecuentes y de mayor duración, favorecidos por el aumento de temperatura (Matte *et al.*, 2022). Estos eventos torrenciales son los principales generadores de inundaciones que, por tanto, podrían ser más frecuentes (Amponsah *et al.*, 2018).

- **El aumento de la temperatura:** se prevé un aumento de la temperatura tanto del aire como del suelo, vegetación, capa de nieve y agua en masas de agua superficiales. La península ibérica ha sido identificada como un área que experimentará un aumento de la temperatura media anual superior a la media mundial (Soto-Navarro *et al.,* 2020). Esto tiene implicaciones directas, como el aumento de la demanda evaporativa y cambios en los índices de aridez que definen episodios de sequía o, en la generación de episodios de lluvias convectivas que favorecen eventos de precipitación intensos (Rouhani *et al.*, 2025). Estas variaciones alterarán diferentes componentes del ciclo hidrológico, como la evaporación o la infiltración, y en última instancia condicionarán los riesgos de sequía e inundaciones.

- **Cambios en la dinámica de fusión de la capa de nieve:** como efecto combinado de la disminución de la precipitación media y el aumento de la temperatura, la precipitación en forma de nieve se verá reducida (Faranda, 2020) y el volumen total de nieve también lo hará, tanto en espesor como en superficie (López-Moreno *et al*., 2017; Pérez-Palazón *et al*., 2015). A su vez, estos cambios condicionarán las dinámicas de fusión, con un aumento de los eventos de lluvia sobre nieve, un adelanto de las fechas de inicio de la fusión primaveral (López-Moreno *et al.*, 2017) y un aumento de las tasas de evaposublimación desde la capa de nieve a la atmósfera (Herrero y Polo, 2016). Así, el adelanto en la fusión nival unido a la disminución de las precipitaciones en esos meses de verano disminuirá claramente los caudales medios desde junio hasta octubre (MITECO, 2021). Todo esto tendrá un impacto directo en el volumen de recursos hídricos disponible y condicionará la gestión de fenómenos hidrológicos extremos, escasez e inundaciones, con el fin de intentar paliar los daños que producen.

El segundo componente del riesgo es la **exposición**, entendida como aquellos elementos que están presentes en el área donde puede desarrollarse un peligro climático y que por tanto se ven condicionados por este peligro. Estos elementos pueden agruparse en diferentes categorías (Figura 1):

- **Población:** el elemento expuesto en este caso es el número de personas que pueden verse afectadas por las consecuencias de un peligro climático, es decir, el número de personas que viven en una zona que puede inundarse o el número de habitantes que quedarían desabastecidos en una situación de escasez de agua.

- **Ecosistemas naturales:** los elementos expuestos incluyen, entre otros, las masas de agua superficiales (ríos, lagos, humedales) y subterráneas (acuíferos), los suelos y las especies de fauna y flora de los ecosistemas acuáticos y terrestres dependientes del ciclo hidrológico. Estos ecosistemas verían alteradas sus dinámicas, procesos ecológicos y hábitats debido a sequías, inundaciones o al aumento de las temperaturas.

- **Bienes muebles e inmuebles:** los bienes tanto muebles (cabezas de ganado, maquinaria, árboles o vehículos) como inmuebles (terrenos, casas o edificios) estarían expuestos a sequías, que pueden hacer perder cosechas, o a inundaciones, que destruyen edificaciones localizadas en zonas inundables.

- **Infraestructuras:** en este cuarto grupo se incluyen todas las infraestructuras que podrían verse afectadas por peligros climáticos. En esta categoría quedarían englobadas desde infraestructuras hidráulicas (presas, potabilizadoras, depuradoras, desaladoras, así como redes de distribución y saneamiento), infraestructuras energéticas (centrales hidroeléctricas, centrales térmicas, líneas de alta tensión, centros de transformación), infraestructuras de transporte (carreteras, líneas de ferrocarril) o infraestructuras de telecomunicaciones (líneas telefónicas). Estas infraestructuras están expuestas a los peligros climáticos relacionados con el agua, y por tanto pueden sufrir daños que conlleven interrupciones en los servicios que prestan, así como afectar a la propia seguridad de las infraestructuras con el consiguiente peligro para la población.

- **Actividades económicas:** la agricultura y la ganadería son actividades ligadas al uso del agua como recurso, por tanto, estarían altamente expuestas a situaciones de escasez generadas por episodios de sequía, o a daños producidos por inundaciones. Del mismo modo, aunque en menor medida, el sector servicios y el sector industrial estarían expuestos a estos riesgos.

La tercera componente del riesgo, la **vulnerabilidad**, entendida como la predisposición de un sistema a ser afectado negativamente por un peligro climático, puede ser analizada desde un punto de vista holístico (Eklund *et al.*, 2023) en cinco categorías (Figura 1):

- **La vulnerabilidad ambiental** implica aquellas características propias del entorno que lo hacen estar potencialmente más afectado por un peligro climático. Un factor de vulnerabilidad ambiental puede ser el estado de partida de las masas de agua, tanto en cantidad como en calidad, que puede tener influencia sobre el grado de afección ante los peligros climáticos y su posterior capacidad de recuperación. Otro ejemplo de vulnerabilidad ambiental sería el tipo de orografía y la proximidad al mar de una determinada zona. Ambas condicionan la generación de precipitación convectiva que hace que estas zonas sean más vulnerables a los posibles efectos de una lluvia torrencial. Del mismo modo, la alteración de las condiciones hidromorfológicas de los ríos hace que, ante eventos extremos de precipitación, los cursos naturales del agua se puedan ver fuertemente modificados con respecto a su condición natural, haciendo a estas zonas más vulnerables.

- **La vulnerabilidad social** hace referencia a factores económicos, sociales y demográficos que afectan a personas o grupos impidiendo su plena satisfacción de necesidades y su capacidad para

enfrentar adversidades, lo que conlleva una menor capacidad de resistencia o respuesta que los hace estar más afectados por los peligros climáticos. En sociedades avanzadas, como la española, esta vulnerabilidad social generalmente suele estar ligada a grupos de personas pertenecientes a colectivos vulnerables (p. ej., con bajos ingresos, enfermos o sin acceso a servicios básicos). Ante el riesgo de daños por inundación, son más vulnerables las poblaciones localizadas en llanuras aluviales y áreas catalogadas como inundables. El empleo en el sector primario y terciario también se concentra con frecuencia en estos colectivos, que se verán afectados por la pérdida de empleo que se puede producir ante situaciones de sequía, escasez o inundación. Además, especialmente estos grupos de personas tienen una cultura del riesgo incipiente[7]. El avance social experimentado en las décadas recientes ha hecho que nuestra percepción sobre qué situaciones suponen un riesgo cambie. Por ejemplo, la construcción de infraestructuras de contención ha convertido zonas que solían inundarse con frecuencia en áreas aparentemente seguras, lo que ha llevado a edificar en ellas sin ser plenamente conscientes de las implicaciones directas que esto tiene. De manera similar, disponer de agua almacenada en embalses en épocas de sequía hace que nuestra percepción sobre las situaciones de escasez no sea la misma (Polo *et al.*, 2014). Es fundamental mejorar la información y la concienciación para que todos los actores sepan su vulnerabilidad y las medidas que pueden tomar.

- **La vulnerabilidad de gobernanza** hace referencia a aspectos y decisiones de gestión pública que nos hacen más vulnerables. El Estado de las Autonomías hace que muchas de las competencias en materia de gestión hidrológica estén transferidas a las administraciones más cercanas al territorio. Esta ventaja puede suponer una vulnerabilidad si la coordinación y colaboración entre administraciones no están alineadas, ya que es necesario integrar políticas y desarrollar estrategias conjuntas de adaptación. Esto puede llevar, por ejemplo, a políticas individuales no coherentes, al uso ineficiente de tiempo y presupuestos, falta de enfoque integrado y transferencia de conocimiento y metodologías, factores que dificultan el aprendizaje y la capacidad de afrontar los peligros climáticos. Del mismo modo, es la administración a través de los organismos de cuenca la encargada de determinar las dotaciones de agua. Cómo se realicen estas asignaciones puede hacer que unas determinadas zonas sean más vulnerables ante las sequías que otras. Así, por ejemplo, en años con suficientes reservas pueden tomarse decisiones sobre dotaciones máximas de regadíos basadas en esta buena situación, sin tener coherencia con la garantía interanual disponible, generando situaciones críticas de escasez en años de sequía (Agudo *et al.*, 2006).

- **La vulnerabilidad físico-tecnológica** hace referencia a las condiciones derivadas del uso de tecno-

[7] Se refiere a la etapa inicial del desarrollo de una cultura de riesgo en una organización o grupo de personas, donde los valores, creencias y comportamientos relacionados con la gestión de riesgos comienzan a formarse, pero aún no están completamente consolidados ni integrados.

logía o infraestructuras hidráulicas obsoletas diseñadas para escenarios climáticos pasados, lo que limita su capacidad de respuesta frente a peligros climáticos. Entre los factores que contribuyen a esta vulnerabilidad destacan acciones relacionadas con: sistemas de alerta temprana deficientes; infraestructuras envejecidas y con falta de mantenimiento; sistemas de drenaje urbano deficientes y suelos altamente impermeabilizados, que impiden la evacuación ante inundaciones; la modificación de cauces, construcción de diques y motas y la eliminación de meandros, que inciden en la ocupación del espacio fluvial que intenta recuperar su espacio, y que desplaza e incrementa el riesgo de inundación aguas abajo; suelos contaminados y técnicas de manejo del suelo en áreas agrícolas que alteran sus propiedades naturales, haciendo los cultivos más vulnerables en caso de episodios de sequías; o la falta del uso de recursos alternativos como la reutilización y la desalación que limitan la capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo.

- **La vulnerabilidad económica,** en el caso del sector del agua en países desarrollados, hace referencia a la falta de recursos económicos y a la toma de decisiones en este marco que condicionan que las afecciones de un peligro climático tengan mayores repercusiones y limitan la capacidad de adaptación. En el caso de España, existe una dependencia del agua en determinados sectores económicos, especialmente la agricultura, la ganadería y el turismo, que hace que zonas exclusivamente dependientes de cada uno de estos sectores sean muy vulnerables ante la falta de agua. La ocurrencia de sequías conlleva unos costes de recuperación, asociados a la reactivación del sector agroalimentario y la industria (como la subida de precios para compensar las caídas de volumen, adaptación a técnicas de riego más eficientes o ayudas a agricultores). De la misma forma, la limpieza, reparación y recuperación tras inundaciones requieren del uso de fondos que pueden llegar muy lentamente, prolongando los impactos del desastre.

Existen además **factores de riesgo subyacentes** (antropogénicos no climáticos) que pueden agravar tanto la exposición como la vulnerabilidad del sector hídrico frente a los peligros climáticos previamente descritos. En particular, el desarrollo urbano, agropecuario, industrial y turístico condiciona la evolución de los recursos hídricos en diversos aspectos (Figura 1). Por un lado, la deforestación y cambios en los usos de suelo alteran los hábitats de las zonas húmedas mediante la ocupación de llanuras de inundación, canalización y rectificación de cauces y desconexión de humedales. Por otro, cambios en la demanda y disponibilidad y calidad del recurso pueden ocasionar un déficit de agua que dé lugar a la sobreexplotación de recursos por su uso intensivo y a la generación de conflictos entre los sectores demandantes de agua y conflictos territoriales. El aumento de la temperatura tiene un efecto directo en el aumento de la demanda energética. Por último, la contaminación difusa procedente de la agricultura y ganadería y la puntual generada por vertidos de aguas residuales urbanas empeoran la calidad del agua disminuyendo su disponibilidad para los distintos usos.

Agua y recursos hídricos

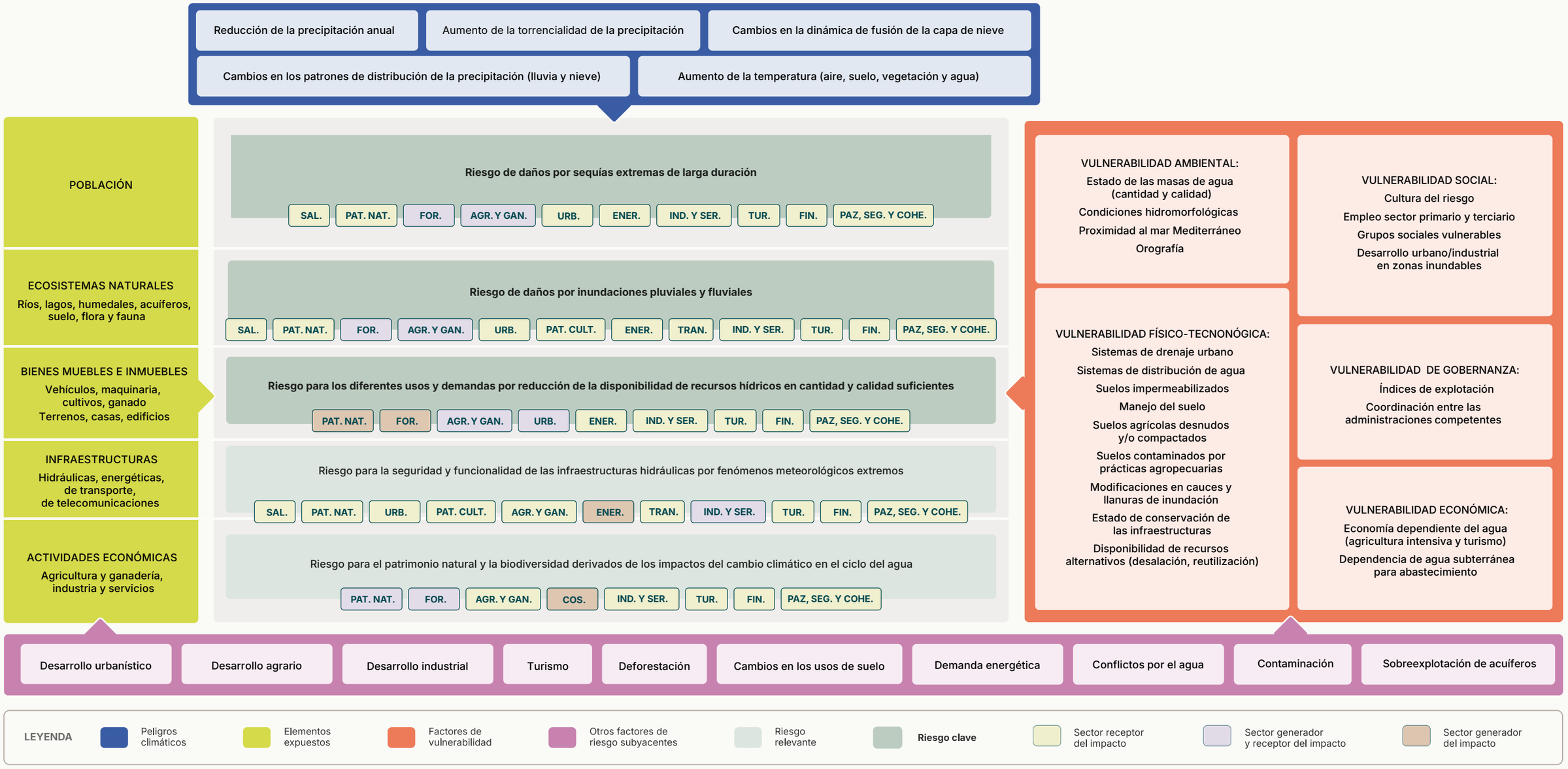


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el agua y recursos hídricos para facilitar la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes de los riesgos relevantes (situados en el centro del modelo) que caracterizan el sector: peligros climáticos, elementos expuestos, vulnerabilidades y otros factores de riesgo subyacentes. Este esquema sigue el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto del cambio climático, desarrollada por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). Para los riesgos claves, se han identificado como factores generadores y/o receptores del riesgo aquellos identificados en el capítulo de Riesgos Complejos. Para los riesgos relevantes, se ha seguido el mismo criterio que en el mencionado capítulo a criterio de los autores. Fuente: elaboración propia basada en UNDRR (2022).

Los riesgos relevantes identificados para el sector se resumen en la Tabla 1 y se describen a continuación:

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) en el sector Agua y recursos hídricos

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR2.1	Medio natural Usos del agua	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración	RC2.1
RR2.2	Medio natural Sistemas antrópicos Ciclo integral del agua	Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales	RC2.2
RR2.3	Medio natural Usos del agua	Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes	RC2.3
RR2.4	Medio natural Sistemas antrópicos Ciclo integral del agua	Riesgo para la seguridad y funcionalidad de las infraestructuras hidráulicas por fenómenos meteorológicos extremos	
RR2.5	Medio natural	Riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivados de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua	

Es necesario señalar que el riesgo RR2.5 resultó seleccionado en el AMC al mismo nivel que el RR2.3. Sin embargo, este riesgo queda incluido en el capítulo sectorial Patrimonio natural y biodiversidad, por lo que en este capítulo nos limitamos a su consideración como riesgo relevante, siendo abordado con mayor detalle en el capítulo sectorial Patrimonio natural y biodiversidad.

3.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración

En España, el riesgo de daños por sequías extremas de larga duración está condicionado principalmente por la reducción de las precipitaciones y el cambio en su distribución, a lo que se une el aumento de la temperatura. En el Catálogo sobre Sequías Históricas (CEDEX, 2013) se recogen más de 184 episodios de sequía registrados desde el 1059 a.C. hasta el primer tercio del XX. Desde entonces, cabe destacar 5 grandes sequías en España: (i) la sequía de 1944-1946 (Lorente, 1945) que afectó principalmente al sector agrícola de la zona centro y sur, así como al abastecimiento y producción eléctrica; (ii) la sequía de los años 1979-1983 (Pérez Cueva, 1983), que afectó a prácticamente la totalidad del territorio peninsular con consecuencias para la agricultura y restricciones al abastecimiento en algunas grandes poblaciones (Sevilla, Badajoz y Ciudad Real); (iii) la sequía que tuvo lugar entre 1991-1995 (Llamas, 1997), con un impacto directo en las regiones central y meridional de España y con afección, de nuevo, al abastecimiento de más de 12 millones de personas que sufrieron restricciones al uso durante este periodo; (iv) la sequía producida entre los años 2016-2017, con el año 2017 considerado como el segundo más seco desde que hay registros, en la que Galicia y Castilla León fueron las comunidades más afectadas, con grandes pérdidas de las cosechas de cereal y un alto impacto en la ganadería, así como una subida considerable del precio de la electricidad (MAPAMA, 2017b); (v) finalmente, la sequía de los años 2022-2023 afectó especialmente a las cuencas catalanas, donde los niveles de precipitación estuvieron muy por debajo de la media histórica afectando la agricultura y al abastecimiento (Bellvert *et al.*, 2025).

Las proyecciones climáticas apuntan a que la frecuencia e intensidad de estas sequías continuará en ascenso (Noguera *et al.,* 2023; Vicente-Serrano, 2022) debido al aumento de las temperaturas y a la reducción de las precipitaciones que se estima que a finales del siglo XXI pueda alcanzar entre el 30-40 % de la actual en el peor escenario de emisiones (Carvalho *et al.,* 2022), no siendo este cambio homogéneo a lo largo del año, y viéndose especialmente acentuado en otoño e invierno (MITECO, 2024). Todo ello implicará una reducción de la producción agraria, especialmente en los cultivos de secano (Gratsea *et al.*, 2022). También se verá afectada la producción de energía hidroeléctrica, debido a la menor disponibilidad de recursos hídricos (Solaun y Cerdá, 2019), y el turismo, con un cambio en los patrones de comportamiento (De la Vara *et al*., 2024), viéndose favorecidas las zonas con climas menos extremos, en este caso el norte de España. Además, también afectará a las masas forestales, aumentando la desertificación y el riesgo de incendio, así como a los ecosistemas derivados, destruyendo hábitats y afectando al patrimonio natural.

Para afrontar e implementar estrategias de adaptación frente al riesgo de daños por sequía extrema, la Ley 10/2001, del Plan Hidrológico Nacional, exige en su artículo 27 la elaboración de

Planes Especiales de Sequía (PES). Así, las Confederaciones Hidrográficas han desarrollado los PES en el ámbito de su demarcación, como instrumento de gestión extraordinario con el objetivo de minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de eventuales episodios de sequías coyunturales y situaciones de escasez (sequía hidrológica). La última versión publicada de los PES de las cuencas intercomunitarias fue aprobada el 26 de diciembre de 2018, mientras que las de las demarcaciones intracomunitarias han sido aprobadas entre los años 2017 y 2022. La versión revisada de los PES está en su fase final e incorpora avances significativos en materia de adaptación al cambio climático.

3.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales

En España las inundaciones son un riesgo recurrente; son el peligro natural más devastador en términos de pérdidas humanas y económicas (Barriendos et al., 2019; WWA, 2024). El Catálogo Nacional de Inundaciones Históricas recoge unas 3000 inundaciones en los últimos 500 años. Entre ellas destacan en el último siglo: la riada de Málaga en septiembre de 1907, con 21 decesos (Pérez-Frías, 2018); la gran riada de Valencia en octubre de 1957, con 81 muertes; la riada del Vallés en 1962, con 800 víctimas mortales; la riada de 1973 en el sureste español y la inundación en Biescas de 1996, con 86 decesos. Otros episodios producidos durante el primer cuarto del siglo XXI fueron las inundaciones de Andalucía, Murcia y Valencia en 2012, y Mallorca en 2018, ambas con 12 víctimas mortales. A estas cifras se suman las de las recientes inundaciones de octubre de 2024 en Valencia y otras zonas del Mediterráneo (Albacete, Cuenca y Málaga), donde la repentina crecida de cauces produjo la pérdida de 232 vidas humanas (Moncloa, 2025) y unas pérdidas que llegaron a los 17.000 millones de euros (Pérez *et al.*, 2025). Todas estas inundaciones generaron grandes pérdidas humanas y de bienes muebles e inmuebles (Barriendos *et al.*, 2019; Bravo-Paredes *et al.*, 2021; Gil-Guirado *et al.*, 2022; Pérez *et al.*, 2025; Sánchez-García y Schulte, 2023).

A partir de los datos de inundaciones históricas, se observa una tendencia al aumento de inundaciones en zonas costeras próximas al Mediterráneo (Sánchez-García y Schulte, 2023). Este tipo de inundaciones son producidas por lluvias de carácter torrencial, generadas mayormente por precipitaciones convectivas, o bien por una depresión aislada de niveles altos (DANA). En ambos casos, la principal causa del episodio de precipitación intensa es el aumento de la temperatura del mar Mediterráneo, especialmente en verano (Soto-Navarro *et al.*, 2020). En el caso de la DANA, la alta temperatura del mar es el motor generador de la inestabilidad atmosférica creada por la diferencia de temperatura en el perfil vertical de la atmósfera entre el mar y las capas altas de la atmósfera (Amengual, 2025; Miró *et al.,* 2018). En el caso de la precipitación convectiva, la

temperatura alta del mar favorece su evaporación dotando a la atmósfera de un aire muy húmedo que al ascender puede generar grandes volúmenes de precipitación (Llasat *et al.,* 2016). Según la *World Weather Attribution* (WWA, 2024), en el sureste español, durante los últimos 75 años, entre los meses de septiembre y diciembre, los extremos de precipitaciones diarias han aumentado significativamente, duplicando aproximadamente su probabilidad y aumentando su intensidad en un 12 %. Así, aunque las inundaciones pueden ocurrir en cualquier época del año, en España el 65,8 % se producen durante estos meses (CCS, 2024).

Sin embargo, existen otros condicionantes que pueden generar inundaciones. En cuencas en las que el agua acumulada en la capa de nieve constituye un volumen considerable del total de los recursos hídricos, los cambios en los patrones estacionales de la dinámica de la nieve – nevadas más tardías, adelanto de la fusión primaveral, aparición de eventos de lluvia sobre nieve – pueden generar también inundaciones. Este es un caso recurrente en las cuencas de cabecera de los Pirineos, la Cordillera Cantábrica, los Sistemas Central e Ibérico y Sierra Nevada, que se encuentra altamente influenciada por la dinámica de la capa de nieve del Pirineo (Balasch *et al.,* 2019).

En cuanto a los escenarios futuros, las proyecciones climáticas muestran un aumento significativo de eventos con caudal máximo por encima del periodo de retorno de 100 años en la mayor parte de Europa, y un aumento de la magnitud de las inundaciones en el sur de Europa (Alfieri *et al*., 2017; Dankers *et al*., 2014; Forzieri *et al*., 2016; Hirabayashi *et al*., 2013; Rojas *et al.,* 2012; Roudier *et al.,* 2016; Thober *et al*., 2018). En España, las proyecciones apuntan a un aumento de los extremos superiores de precipitación especialmente a lo largo de la costa mediterránea y el sur de la península en los meses de verano y comienzo del otoño (Molinié *et al.,* 2016), zonas que están más expuestas a inundaciones. Estos cambios se encuentran condicionados al aumento de la temperatura del Mediterráneo, especialmente en verano (Soto-Navarro *et al.,* 2020). Del mismo modo, los estudios de Zittis *et al.* (2021) y Del Jesus y Díez-Sierra (2023) prevén un aumento de las precipitaciones extremas de 50 y 100 años de periodo de retorno, las cuales se encuentran asociadas a riesgos de inundaciones. El MITECO (2021b) ha realizado un estudio para valorar la influencia del cambio climático en España para una serie de períodos de retorno (10, 100 y 500 años) y para diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP4.5, RCP8.5). Se han detectado cambios que conllevan un aumento de episodios de lluvias torrenciales e inundaciones en determinadas zonas, entre las que destacan las cuencas del Ebro, el alto Guadiana y el bajo Segura. Por otro lado, según MITECO (2024), se espera un acortamiento de la temporada de nieve y un cambio en los patrones espaciotemporales, lo que puede tener relación con la influencia de la dinámica de la nieve en inundaciones.

En España, el Real Decreto 903/2010 de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación transpuso la Directiva de Inundaciones de la Unión Europea (EC, 2007) y creó los Planes de Gestión

del Riesgo de Inundación (PGRI) a nivel de demarcación hidrográfica, con el objetivo de lograr una actuación coordinada entre administraciones públicas y sociedad para reducir las consecuencias negativas de las inundaciones. Así, cada Confederación Hidrográfica tiene sus propios PGRI, que se actualizan cada seis años y abordan la gestión de inundaciones en el ámbito de sus competencias mediante: (i) la identificación de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) que definen la exposición y el peligro de inundación, considerando escenarios de alta, media y baja probabilidad de inundación; (ii) la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI); y (iii) la adopción de medidas adecuadas y coordinadas para reducir el riesgo de inundación en esas zonas, centradas en la población, las actividades económicas, los puntos de especial relevancia y los aspectos ambientales. Los PGRI del segundo ciclo actualmente aprobados incluyen entre su contenido las conclusiones de los mapas de peligrosidad y riesgo.

3.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes

En España, el uso del agua como recurso para el desarrollo económico es clave, de ahí que la aparición de situaciones de escasez suponga un riesgo estructural. Este riesgo, al igual que el RC1, se genera como consecuencia de la reducción de la precipitación, cambios en sus patrones de distribución y aumento de la demanda evaporativa por el aumento de temperatura. Sin embargo, mientras que en el caso del RC1 se trata de sequías extremas de larga duración que realmente tienen impactos directos en múltiples sectores (p. ej., afectando a cosechas, a la salud humana y a los incendios forestales), en el caso del RC3 existen factores antrópicos subyacentes derivados de la sobreexplotación de recursos por el uso intensivo del agua, la contaminación o la necesidad de armonización de las políticas públicas relacionadas con el uso del agua, que tienen especial influencia en el riesgo.

En nuestro país, el 71,6 % de los recursos hídricos que abastecen los usos consuntivos proviene de aguas superficiales (embalses, ríos, lagos), siendo un 23,1 % en términos medios el que proviene de aguas subterráneas (acuíferos, pozos) (MITECO, 2021a). La distribución según la procedencia del recurso no es homogénea a lo largo del territorio, aumentando considerablemente el uso de aguas subterráneas en todas las demarcaciones de levante (MITECO, 2021a). Además, el 2,8 % de los recursos hídricos utilizados provienen de fuentes alternativas (desalación y reutilización), concentrándose su uso principalmente en las demarcaciones del Segura, las Cuencas Mediterráneas Andaluzas, los archipiélagos y las ciudades autónomas (MITECO, 2021a). El 2,5 % restante corresponde a recursos procedentes de transferencias entre cuencas.

Las proyecciones climáticas apuntan a una reducción de la precipitación y a un aumento de la temperatura (Noguera *et al*., 2023; Vicente-Serrano, 2022), alterando la dinámica del ciclo hidrológico y haciendo que los patrones de escorrentía superficial, infiltración de agua en el suelo y recarga de acuíferos, entre otros, se vean modificados (IPCC, 2022; MITECO, 2020). Estos cambios modificarán los volúmenes de agua disponible con respecto al periodo de control 1961-2000 y, por tanto, condicionarán su uso. En relación con las aguas superficiales se espera una tendencia decreciente en los volúmenes de escorrentía superficial con una disminución media en España del 24 % para el periodo 2070-2100 en el peor escenario de emisiones (MITECO, 2021a). En el caso del agua subterránea, las proyecciones futuras no son tan claras como para el agua superficial, y subestiman los efectos del cambio climático, siendo necesario un mayor esfuerzo en la cuantificación de su impacto (CEDEX, 2017). Aun así, existen estudios que señalan que "bajo un escenario de calentamiento global de 2 °C se estima para España una reducción significativa en la recarga de aguas subterráneas de -3.272 hm3/año (Bisselink *et al*., 2018) y un descenso en la recarga de acuíferos del 10 % al 20 % en el 53 % del territorio peninsular para 2045 (Pulido-Velázquez *et al*., 2018)".

Por otro lado, existe una preocupación creciente de que el crecimiento demográfico, la concentración de la población e industrias en un mismo territorio (He *et al*., 2021a), así como el aumento de la agricultura intensiva y el consecuente aumento de la demanda de agua (Sánchez *et al*., 2023), pongan en peligro el suministro de agua para los usos más demandantes (Vargas y Paneque, 2019). Estos factores también inciden en la pérdida de calidad del recurso por fuentes de contaminación puntuales (vertidos de aguas residuales urbanas, industriales), difusas (fertilizantes y productos fitosanitarios derivados de la agricultura, purines y estiércoles de ganadería) o por intrusión salina en áreas costeras sobreexplotadas, que deterioran el medio e inciden también en una pérdida de la capacidad de satisfacción de las demandas por parte de los organismos de gestión (Wang *et al*., 2024). Asimismo, la afección a la calidad de los recursos hídricos está también estrechamente relacionada con las comunidades biológicas acuáticas que generan floraciones de cianobacterias tóxicas y crecimiento de organismos productores de malos olores, que a su vez están influenciadas por peligros climáticos y otros estresores ambientales (eutrofización).

En España, la competencia en la gestión de los recursos hídricos en una cuenca la tienen los organismos de cuenca estableciéndose éstos en los PHC. Estos planes se basan en ciclos de planificación periódicos, generalmente de seis años, que comienzan con la elaboración de documentos iniciales, pasan por un Esquema de Temas Importantes y culminan en la propuesta del plan hidrológico, todo ello con procesos de consulta pública para garantizar la participación ciudadana. Actualmente están vigentes los correspondientes al tercer ciclo de planificación (2022-2027), estando en preparación los del cuarto ciclo (2028-2033).

3.4. Riesgo para la seguridad funcional de las infraestructuras hidráulicas por fenómenos meteorológicos extremos

Las infraestructuras hidráulicas son claves en el sector del agua como elementos de captación, almacenamiento, tratamiento, distribución de los recursos hídricos, saneamiento y depuración. Su seguridad está intrínsecamente ligada, entre otros, a fenómenos meteorológicos extremos que se verán exacerbados con el cambio climático.

Las presas son las principales infraestructuras hidráulicas de almacenamiento y regulación de recursos hídricos que aseguran su disponibilidad para los diferentes usos y demandas, y facilitan el control y la laminación de avenidas para la reducción del riesgo de inundación. Con 2453 presas y un volumen que puede alcanzar los 61.000 hm^3, España es el primer país de la Unión Europea y el décimo a nivel mundial en número de presas (Lax-Martínez, 2024). Un 44 % de dichas presas (1093 presas) han sido además catalogadas como grandes presas según los criterios de la *International Commission of Large Dams* (ICOLD, 2016), poniendo de manifiesto su relevancia como infraestructura de gestión de recursos hídricos.

La mayor parte de estas presas fueron construidas durante el siglo XX. Sin embargo, el intenso ritmo de construcción no se ha visto acompañado de un esfuerzo equivalente en materia de explotación y control de la seguridad de las presas (MITECO, 2023). Un hito fundamental en este aspecto fue la unificación, en 2021, de la *Instrucción de 1967* y el *Reglamento Técnico de 1996* en unas normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses (RD 264/2021). En ellas, se pone de manifiesto la necesidad de incluir los posibles efectos del cambio climático en aspectos de seguridad. De igual forma, el documento sobre las *Líneas de Actuación para la Mejora de la Seguridad de Presas 2023-2033* (MITECO, 2023), que examina la situación actual de las presas españolas en materia de seguridad y plantea las líneas de actuación para su manteamiento y mejora, señala la mejora de la adaptación de las presas al cambio climático como una prioridad dentro de la "Línea de actuación 5: Promoción de forma continua de la investigación, la mejora del conocimiento y la mayor formación e intercambio de experiencias en materia de seguridad de presas y embalses".

Las proyecciones de cambio climático para la península ibérica apuntan hacia cambios en los patrones de distribución de la precipitación (Barriendos *et al.*, 2019; Del Jesús y Díez-Sierra, 2023), una reducción de su volumen anual (MITECO, 2024; Sanz y Galán, 2020; Vicente-Serrano *et al.,* 2014) y un aumento de la torrencialidad (Matte *et al.*, 2022); acompañado de un aumento generalizado de la temperatura (Rouhani *et al.*, 2025). Estos cambios tendrán consecuencias directas en las infraestructuras hidráulicas. En relación con las presas, estos peligros climáticos podrían suponer

un riesgo para su funcionalidad (Stamou *et al.*, 2025). Las sequías implican un menor aporte de agua a los embalses y, consecuentemente, una disminución en el volumen de agua almacenada, que puede derivar en: la pérdida de estabilidad en los taludes del vaso del embalse (Damiano y Mercogliano, 2013; Fluixá-Sanmartín *et al.,* 2018); el aumento en las concentraciones de sustancias disueltas en el embalse, entre ellas contaminantes (Benítez-Cano *et al.,* 2024; Lin *et al.,* 2023); o la variación en la estabilidad térmica vertical de la columna de agua con implicaciones directas en los procesos de mezcla en el embalse, que puede producir el deterioro de la calidad del agua y un posible aumento de la eutrofización (Rigotti *et al*., 2023). En el mismo contexto, el aumento de la torrencialidad de la precipitación implica más energía y mayor potencial de erosión del suelo en la cuenca vertiente del embalse, produciendo el arrastre de vegetación u otros elementos localizados en los cauces. Además, los sedimentos transportados producen un aumento de la turbidez en el embalse (González-Rodríguez *et al.,* 2023; Vicente-Serrano *et al.,* 2017) que puede derivar, en el largo plazo, en posibles problemas de colmatación (Millares y Moñino, 2018). De igual forma, la mayor probabilidad de ocurrencia de eventos extremos lleva implícita la necesidad de disponer de una mayor capacidad de laminación en los embalses para hacer frente a posibles avenidas. Este incremento en la necesidad de resguardo disminuiría la capacidad de almacenamiento del embalse y consecuentemente el volumen de recursos hídricos disponibles (Ehsani *et al*., 2017).

En cuanto al resto de infraestructuras hidráulicas, el otro gran grupo engloba a aquellas responsables del ciclo urbano del agua, que llevan a cabo los procesos de captación del agua en la naturaleza, su potabilización, distribución a los hogares en zonas urbanas y rurales, su recolección tras el uso y su tratamiento final para devolverla al medio ambiente. En España, existen más de 155.000 km de redes de distribución para abastecimiento, incluyendo captaciones, aducciones, depósitos, canales, tuberías, más de 140.000 km de redes de alcantarillado, cientos de estaciones de tratamiento de agua potable y de depuración de aguas residuales, desaladoras y estaciones de bombeo. En total, estas infraestructuras se encargan de proporcionar unos 5.000 hm^3 de agua al año para uso urbano (Atarés, 2016; Cabrera, 2007). Durante los últimos años ha habido una reducción de la inversión en el mantenimiento de todas estas infraestructuras con consecuencias para su funcionamiento que engloban pérdidas de agua, capacidad insuficiente o cortes de agua recurrentes (Herrero, 2016). En estos casos los episodios de sequía podrían favorecer la aparición de escenarios de escasez de suministro con la consecuente aparición de problemas asociados al no funcionamiento de estas infraestructuras (Rubio-Martín *et al*., 2023). De igual forma, un mayor número de episodios de lluvias torrenciales podrían implicar un colapso de los sistemas de saneamiento de agua (Andrés-Doménech *et al*., 2021). El aumento de la temperatura podría acarrear problemas de olores en estaciones de depuración, así como la pérdida de eficacia en algunos de los procesos de depuración (Sinharoy *et al*., 2025). En cualquier caso, el número de estudios sobre los posibles efectos del cambio climático sobre estas infraestructuras es más reducido que en el caso de las presas (Herrero, 2016). La mayor parte de los estudios coinciden en que, para este tipo

de infraestructuras hidráulicas, los condicionantes locales poseen mayor peso en las implicaciones de los peligros climáticos (Dong *et al.,* 2020).

La monitorización del estado de las infraestructuras y su funcionamiento es clave a la hora de poder tomar medidas de adaptación. En esta línea, el *Proyecto Estratégico para la Recuperación y la Transformación Económica (PERTE) de digitalización del ciclo del agua* 2022-2026 pretende emprender una completa modernización del ciclo del agua con el fin de avanzar hacia una gestión más eficiente y un mejor conocimiento de la situación actual de las infraestructuras hidráulicas.

3.5. Riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivado de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua

Los ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, humedales, estuarios, entre otros) están sometidos a constantes presiones que han hecho que su calidad ecológica se haya visto deteriorada a lo largo del último siglo. El último informe de la Comisión Europea sobre el cumplimiento de la DMA en España (EC, 2025) pone de manifiesto que sólo el 58 % de las masas de agua superficiales poseen un buen estado ecológico; a pesar de que este porcentaje se encuentra por encima de la media europea, del 39,5 %, se encuentra aún lejos de alcanzar el óptimo.

En nuestro país el no cumplimento de este estándar de calidad está relacionado principalmente con factores antrópicos subyacentes, principalmente: la contaminación difusa por nutrientes procedente de la agricultura y la ganadería (Contreras *et al*., 2023; López-Ballesteros *et al.,* 2023); la contaminación puntual procedente de las aguas residuales urbanas (Contreras *et al.,* 2024; Dulsat-Masvidal, *et al.,* 2023); la sobreexplotación de acuíferos (Green *et al.*, 2024) y, la alteración de los hábitats debido a cambios morfológicos - rectificación de cauces, canalizaciones, cambios en la estructura del bosque de ribera y la ocupación de su llanura de inundación - en las masas de agua con la consecuente pérdida de conectividad longitudinal, transversal y vertical (Fazelpoor *et al*., 2021; Nieto-López *et al*., 2020).

Estos factores se ven directamente condicionados e intensificados por los efectos del cambio climático. El cambio en los patrones de distribución de la precipitación, con variaciones en la cantidad y periodos en que se producen, así como el aumento de la temperatura, son los principales peligros climáticos que afectan a los ecosistemas acuáticos, modificando tanto la calidad como la cantidad de agua. Estos peligros se verán acentuados de acuerdo con las proyecciones de cambio climático en España (MITECO, 2024).

Por un lado, el aumento de la temperatura modifica la estratificación en lagos y embalses, creando capas de agua más cálidas y menos densas que se mantienen en las partes superiores, mientras que las capas más frías y densas se hunden en el fondo. Este proceso limita la mezcla vertical, agotando el oxígeno en las capas profundas y cambiando la distribución de nutrientes. Cuando existe además elevada presencia de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, ocurren procesos de eutrofización en condiciones anóxicas que favorecen el crecimiento de algas y plantas acuáticas, así como la proliferación potencial de cianobacterias (Camargo *et al.*, 2025; Pérez-Martín *et al.*, 2023). Estos cambios en lagos y embalses pueden derivar en mortalidad de peces y la pérdida de macroinvertebrados, al reducirse el oxígeno disponible, alterando el equilibrio del ecosistema (Pinero-Rodríguez *et al.*, 2021). Los efectos pueden variar dependiendo de si los sistemas son someros o profundos. En sistemas someros la influencia de las comunidades de macrófitos es más relevante y estos compiten por nutrientes y luz con las comunidades fitoplanctónicas (entre ellas, cianobacterias potencialmente tóxicas), siempre y cuando no se sobrepase un umbral de turbidez determinada y tengan suficiente luz disponible.

Estrela-Segrelles *et al.* (2023) abordan la vulnerabilidad de las masas de agua en España a los riesgos del cambio climático asociados con el avance gradual del aumento de la temperatura, mediante indicadores que integran peligro, exposición y vulnerabilidad. Basado en un aumento de la temperatura del cauce de 1,0 a 3,9 °C según el escenario, cuantifican en un 16 % la pérdida de las condiciones de hábitat por disminución del contenido de oxígeno para las especies de agua fría en el escenario de cambio climático más desfavorable (RCP8.5) en el corto plazo (2020-2050), alcanzando un 23 % en el medio plazo (2050-2080), y a un 40 % en el largo plazo (2080-2110). Sus resultados muestran además que en el 60 % de los cursos de agua analizados la vegetación de ribera posee una alta vulnerabilidad a presentar alteraciones en su estructura, cobertura y calidad. El impacto del cambio climático en las condiciones de hábitat por aumento de la temperatura del agua afecta primero a los tramos intermedios de los ríos, favoreciendo la migración de los peces hacia las cabeceras (García-Vega *et al.*, 2018) en aquellos casos en los que la pérdida de conectividad del cauce no lo impide. Sin embargo, las previsiones de cambio climático apuntan a que la barrera térmica se desplazará río arriba con la altitud hacia las cabeceras, por lo que las condiciones no serán óptimas tampoco en estas zonas. Según la International *Union for Conservation of Nature*, alrededor del 56 % de las especies endémicas de peces de agua dulce están amenazadas en la región mediterránea (IUCN, 2006) por la pérdida de hábitat y conectividad, así como por otros peligros tales como la contaminación y extracción de agua, sequía, la presencia de especies invasoras y la construcción de presas.

Por otro lado, los cambios en los patrones de precipitación no implican necesariamente una reducción uniforme del recurso hídrico, pero sí una mayor variabilidad espacial y temporal, con tendencia a la reducción de caudales, que se acentúa en algunas regiones del territorio. La reducción de

caudal en los cursos de agua podría llevar asociado un deterioro de la calidad del agua durante las sequías, por pérdida importante en la capacidad de dilución y un mayor contenido de pesticidas, nitratos, fósforo y amonio si se producen escorrentías o pulverizaciones (Bolan *et al.,* 2024; Dorado-Guerra et al., 2023), así como y una disminución del oxígeno disuelto (Jiang *et al.*, 2025) aumentando la toxicidad para los ecosistemas (MITERD, 2022). Una de las principales medidas a implementar para mitigar los efectos de la escasez de agua en los ecosistemas acuáticos mediterráneos es el establecimiento de un régimen adecuado de caudal ecológico. El caudal ecológico es aquel que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2008). En el caso de ecosistemas costeros, el cambio en los patrones de precipitación que alteran los caudales de los ríos y la recarga de acuíferos, junto con la subida del nivel del mar, tiene consecuencias en la alteración de la dinámica de salinidad, con implicaciones para los ecosistemas (de Felipe *et al.*, 2023; Green *et al.,* 2024; MITERD, 2022).

El riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivado de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua se considera un riesgo clave parcialmente incluido dentro de uno de los riesgos clave del sector Patrimonio Natural y la Biodiversidad. Por eso, aunque este riesgo está estrechamente vinculado a las alteraciones en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, su análisis se aborda detalladamente en este otro capítulo.

4. Riesgos clave

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector agua y recursos hídricos, los cinco riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts y Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector Agua y recursos hídricos y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante pueden consultarse en detalle en el AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos relevantes que son catalogados como “Riesgos Clave” y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR2.1 Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración (RC2.1).
- RR2.2 Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales (RC2.2).
- RR2.3 Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes (RC2.3).

Del AMC se desprende que el riesgo relevante RR2.5 obtiene la misma puntuación que el riesgo RR2.3. Sin embargo, este riesgo se describe en profundidad en el Capítulo 3 de Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas.

A continuación, se describen en detalle los riesgos clave identificados.

4.1. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración

De entre los riesgos que obtuvieron una mayor valoración en el AMC, se va a analizar en profundidad en primer lugar el **riesgo de daños por sequías extremas de larga duración**.

La sequía es un fenómeno climático caracterizado por la falta prolongada de agua, ya sea por escasez de lluvias, baja humedad o déficit en los recursos hídricos disponibles en una región. Así, se puede distinguir entre sequía meteorológica, cuando nos referimos a la reducción de las precipitaciones con respecto al promedio en una región y durante un periodo determinado; sequía agrícola, cuando hay menor disponibilidad de agua en los suelos; sequía hidrológica, cuando la reducción de las precipitaciones se traduce en menores caudales en los ríos, agua almacenada en los embalses o reservas subterráneas (Stahl y Demuth, 1999); y sequía socioeconómica, cuando la falta de agua impacta en la población y la economía (Wilhite y Glantz, 1985). Estas sequías se encuentran encadenadas, de forma que la aparición de una puede provocar la siguiente; a este fenómeno se le conoce como propagación de sequía (Van Loon, 2015). Por tanto, diferenciar entre los diferentes tipos nos permite analizar este riesgo clave de manera más precisa, siendo capaces de identificar sus consecuencias e impactos.

Las sequías de larga duración son un riesgo extraordinario del clima mediterráneo (Cos *et al.*, 2022). En España en el último siglo se han registrado varios episodios de sequía extrema de larga duración: 1944-1946, 1979-1983, 1991-1995, 2016-2017, 2022-2023, cuya duración e intensidad han ido aumentando (Vicente-Serrano *et al.*, 2014). Estas sequías se han distribuido de manera heterogénea en la península ibérica (Vicente-Serrano *et al.*, 2022). En particular, se observa una tendencia creciente del número de sequías en el noreste y sur peninsular, mientras que esta tendencia decrece en el norte de España, especialmente en Galicia (López-Díaz, 2023). Un estudio similar en el sur de España (Hurtado *et al.*, 2024) destaca el aumento de la frecuencia y duración de los periodos de sequía en esta zona.

La **Figura 2** muestra la cadena de impacto del riesgo clave, incorporando los componentes esenciales del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de la acción combinada de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco, donde confluyen los impactos físicos que resultan de los peligros, los elementos expuestos y los atributos que determinan su nivel de vulnerabilidad. A partir de este nodo central se despliegan las consecuencias del riesgo en forma de impactos directos, así como de riesgos en cascada, tanto propios del sector como derivados de su interrelación con otros sectores.

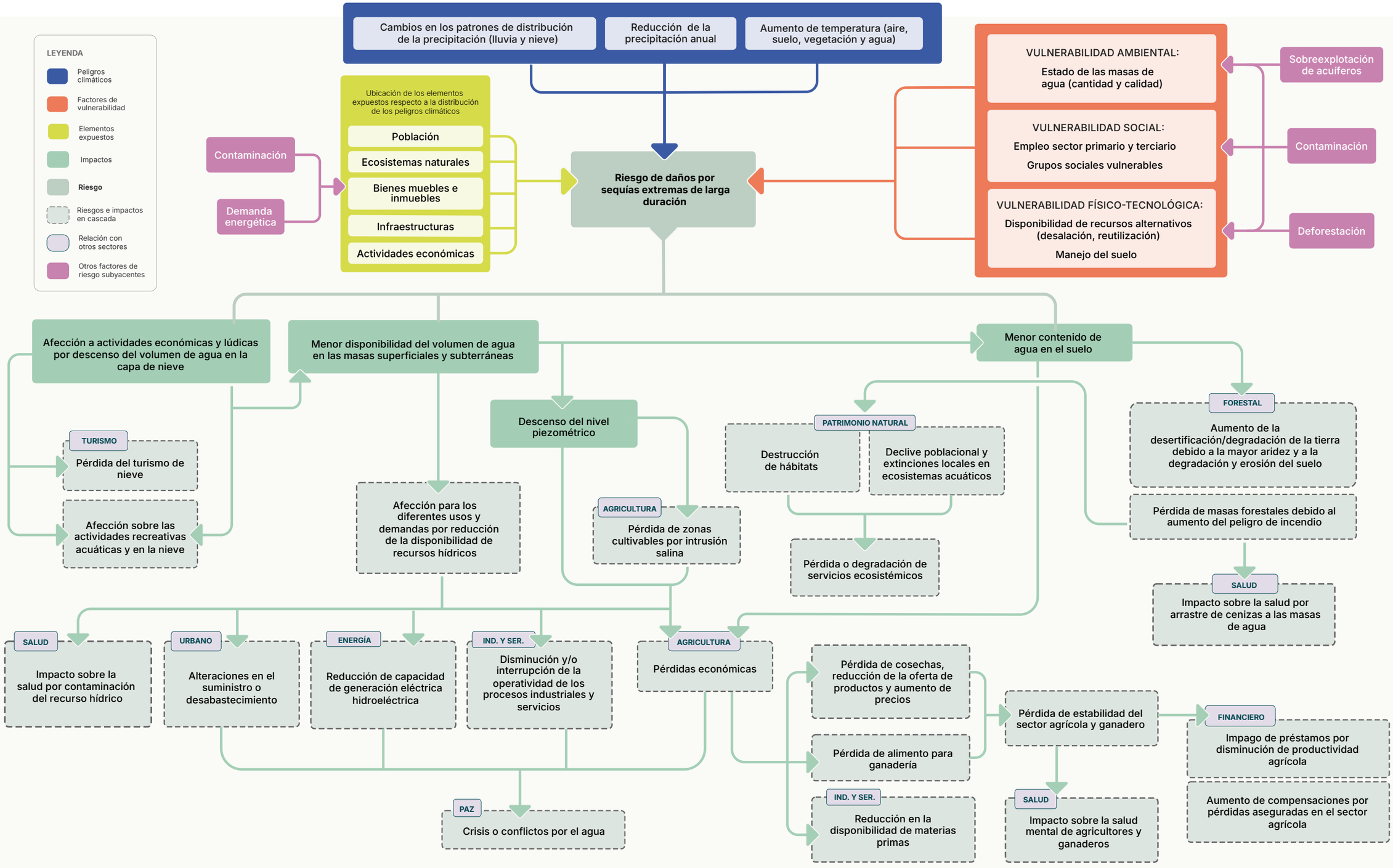


Figura 2. Cadena de impacto. RC2.1. Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.

A partir de la clasificación climática propuesta por el AR6 WGI del IPCC (Ranasinghe *et al.*, 2021) y de la literatura analizada asociada a este riesgo (Sanz y Galán, 2020; Vicente-Serrano *et al.*, 2014), se han identificado como los principales **peligros climáticos** del RC1: *los cambios en los patrones de distribución de la precipitación (lluvia y nieve)*, *la reducción de la precipitación anual*, y *el aumento de la temperatura*.

La *reducción de la precipitación anual* es el principal peligro climático que genera una sequía meteorológica. Además, los *cambios en los patrones de distribución de la precipitación* pueden favorecer una alternancia de periodos de precipitaciones abundantes y largos periodos sin lluvia, que condicionan el volumen de agua almacenada en los diferentes elementos del sistema: capa de nieve (sequía de nieve), suelo (sequía agrícola), masas de agua (sequía hidrológica) o infraestructuras de almacenamiento (sequía socioeconómica) (de Luis *et al.*, 2010; Miró *et al.*, 2018). Por otro lado, el *aumento de la temperatura* provoca el aumento de la demanda evaporativa de la atmósfera favoreciendo las condiciones de falta de precipitación y un cambio en el reparto de los flujos de agua (evaporación-infiltración-escorrentía).

En este contexto, las proyecciones climáticas sobre la península ibérica apuntan a un aumento de la temperatura y a una reducción en la precipitación anual (MITECO, 2024), lo que favorecerá el aumento de la frecuencia e intensidad de las sequías (Noguera *et al.,* 2023; Vicente-Serrano, 2022). La mayoría de los estudios (p. ej., Camuffo *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2022; Peña-Angulo *et al.*, 2020; Senent-Aparicio *et al.*, 2023; Serrano-Notivoli, 2017) apuntan a un ligero descenso (no significativo en todas las zonas) de los totales anuales desde la segunda mitad del siglo XX. El descenso general mostrado está condicionado por importantes contrastes espaciales, no siendo este cambio homogéneo a lo largo del año, destacando en otoño e invierno (MITECO, 2024). Además, el incremento de la temperatura aumentará la demanda evaporativa de la atmósfera, lo que, unido a la reducción de la precipitación, aumentará la aridez total, que se verá acentuada hacia finales de siglo (Gaitán *et al.,* 2020). Según estudios del CEDEX, estos peligros harán que los periodos de sequía de 2 y 5 años sean más frecuentes, incluso en los escenarios de bajas emisiones (CEDEX, 2017). Lorenzo *et al.* (2024) en un reciente estudio sobre sequías a mediados del siglo XXI apuntan a un aumento en la frecuencia, duración, número e intensidad en el norte y sur de la península y un comportamiento menos claro en el centro peninsular (**Figura 3**).

Como **elementos expuestos** del RC1, se han identificado cinco elementos: *población, ecosistemas naturales* (masas de agua, suelo, flora y fauna), *bienes muebles/inmuebles* (cultivos y ganado), *infraestructuras* (hidráulicas y energéticas) y *actividades económicas*.

La sequía puede generar situaciones de restricción de agua que pueden afectar al abastecimiento a la *población*. Del mismo modo, los *ecosistemas naturales* se verían expuestos a la sequía. Concreta-

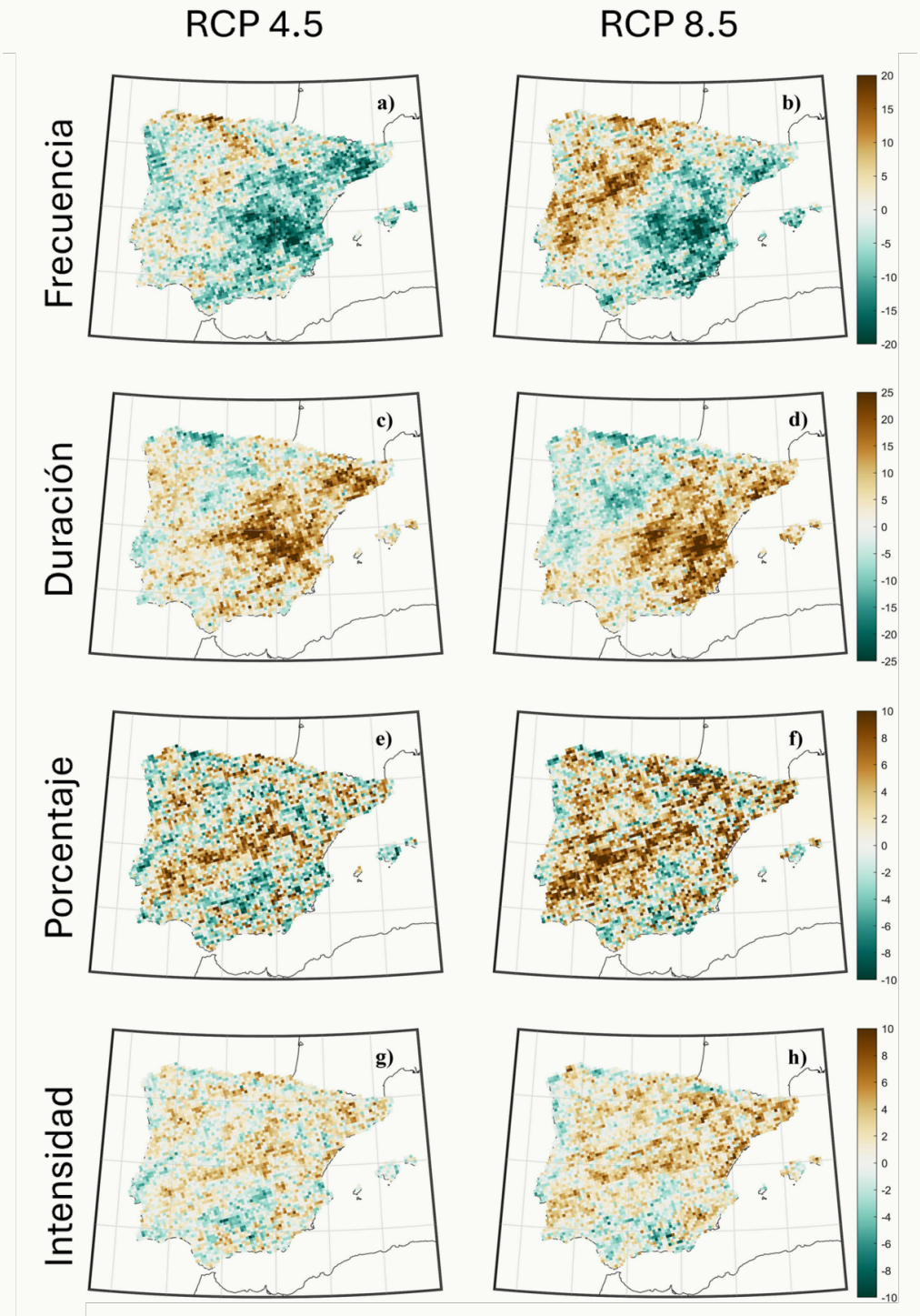


Figura 3. Cambios (%, el color marrón indica que el porcentaje es positivo y por tanto existe un aumento de la variable, el color verde indica que el porcentaje es negativo y por tanto que existe una disminución) **del indicador de sequías SPI-3 en el periodo 2041-2075 relativos al periodo de referencia (1971-2005)**, para la frecuencia (a, b), duración (c, d), porcentaje de sequías (e, f) e intensidad (g, h) de las sequías de larga duración, para los escenarios futuros RCP 4.5 (bajas emisiones) y RCP 8.5 (altas emisiones), Lorenzo *et al.* (2024).

mente las masas de agua subterránea y las masas de agua superficiales, -incluyendo en estas tanto ríos, lagos, aguas de transición, y embalses (De Girolamo *et al.*, 2022), como otras masas de agua más pequeñas, como pequeños humedales (Downing *et al.*, 2006) - pueden verse expuestas a la disminución del recurso en términos cuantitativos (menor cantidad de agua disponible) y cualitativos (contaminación por concentración de contaminantes, intrusión salina) (Pulido-Velázquez *et al.*, 2018; Vicente-Serrano *et al.*, 2021). Esto hace que, por ejemplo, en ocasiones masas de agua permanentes se conviertan en temporales y masas de agua temporales desaparezcan por completo (Woolway *et al.*, 2022). Por otro lado, la sequía modifica la estructura del suelo favoreciendo su pérdida debido a un aumento de las tasas de erosión por la mayor erodibilidad (Masroor *et al.*, 2022), así como el correcto desarrollo y funcionalidad de los ecosistemas (Vicente-Serrano *et al.*, 2021). En relación con los *bienes muebles e inmuebles*, los principales elementos expuestos son los cultivos, debido a un menor volumen de agua en el suelo (sequía agrícola) y por extensión, el ganado, al disminuir las fuentes de agua y el forraje. Por último, *las infraestructuras* hidráulicas y de generación de energía y las *actividades económicas* dependientes del uso del agua, están también expuestas en situaciones de sequía, ante la necesidad de ver satisfecha su demanda de agua (BOE, 2023; Geng *et al.*, 2015; Hurtado *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2024; Martínez-Dalmau *et al.*, 2023; MITECO, 2020; Pérez-Pérez y Barreiro-Hurlé, 2009; Scott *et al.*, 2023; Torrelló-Sentelles y Franzke, 2022).

Entre los factores de **vulnerabilidad** para el RC1 se ha identificado **como vulnerabilidad ambiental** *el estado de las masas de agua*, tanto superficiales como subterráneas (Leduc *et al.*, 2017). Así, por ejemplo, una masa de agua en mal estado cuantitativo por sobreexplotación, o en mal estado químico por exceso de contaminación, se prevé menos resiliente ante de los efectos de una sequía de larga duración, ya que las condiciones de partida son más desfavorables pudiendo alcanzar un nivel de deterioro mayor, lo que dificultaría la recuperación del sistema.

Como factores de **vulnerabilidad social** se han identificado aquellas comunidades que dependen de la agricultura, ganadería y turismo (sector primario y terciario), al afectar la sequía directamente sus medios de subsistencia y aquellos grupos de personas con pobreza o bajos ingresos o sin acceso a servicios básicos, ya que pueden ver limitado aún más el acceso a agua, alimentos y otros recursos esenciales.

Finalmente, como **vulnerabilidades físico-tecnológicas** hay que señalar la *limitada disponibilidad de recursos alternativos*, como la desalación o la reutilización de aguas regeneradas. El uso de este tipo de recursos podría paliar los efectos de las sequías prolongadas. Sin embargo, en España la desalación apenas alcanza los 1.71 hm^3 diarios, mientras que la reutilización se sitúa en niveles aún inferiores. Aun así, existen ciertas diferencias a nivel del territorio en la disponibilidad de estas tecnologías existiendo, por ejemplo, un gran volumen de recursos hídricos no convencionales (procedentes de reutilización y desalinización) en las demarcaciones insulares, en Ceuta y Melilla,

y en la demarcación del Segura. No hay que olvidar que las aguas regeneradas ya poseen un uso ambiental minimizando los impactos negativos de vertidos de aguas depuradas. Así, la reutilización es una opción interesante desde el punto de vista de la adaptación siempre que sustituya otras fuentes convencionales del recurso (aguas superficiales o subterráneas), de manera que no se incremente el consumo neto. Si, por el contrario, aumentamos la oferta y reducimos su retorno, estamos agravando el problema. Solo en el caso de depuradoras que vierten al mar se podría ampliar. De igual modo, el *manejo inadecuado del suelo,* mediante labranza intensiva y continua, o monocultivo, prácticas que degradan la estructura del suelo y reducen su contenido de materia orgánica y porosidad, disminuyendo así la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua, puede aumentar la vulnerabilidad ante la sequía agrícola al disminuir su capacidad para retener agua (Du *et al.,* 2022; Stanchi *et al.,* 2021).

Existen **factores de riesgo subyacentes** que pueden suponer un incremento en la exposición de estos elementos ante los peligros climáticos y agravar la vulnerabilidad de los factores identificados. La *demanda energética* de agua para generación de energía hidroeléctrica y para refrigeración en procesos industriales supone un factor de riesgo que afecta a las actividades económicas relacionadas. Cambios en la demanda y disponibilidad y calidad del recurso, puede ocasionar un déficit de agua que dé lugar a la sobreexplotación de recursos por el uso intensivo del agua. Un ejemplo es la *sobreexplotación de acuíferos* que se ha ido produciendo mediante pozos ilegales para regadío, acción que merma la capacidad de abastecimiento para pequeñas poblaciones que tienen en estos sistemas el acceso más cercano y de menor coste a agua potable (Agudo y del Moral, 2023). Además, el sistema se vuelve más vulnerable ante la sequía y los diferentes usos se ven más expuestos cuando existe *contaminación* difusa procedente de la agricultura y ganadería y contaminación puntual generada por vertidos de aguas residuales urbanas, que empeora la calidad del agua disminuyendo su disponibilidad para los distintos usos. Por último, la *deforestación* supone un factor agravante de la pérdida de capacidad del suelo para retener agua y aumenta su aridez.

La acción combinada de los peligros climáticos, la exposición y las vulnerabilidades provoca **impactos** significativos. Los impactos se relacionan con los distintos tipos de sequía. La sequía meteorológica supone una reducción de la precipitación, tanto en forma de lluvia como en forma de nieve, siendo el primer tipo de sequía en el proceso de propagación de sequía. En zonas de montaña, el *descenso del volumen de agua almacenada en la capa de nieve* (Pérez-Palazón *et al.*, 2018) *afecta a actividades económicas y lúdicas* relacionadas con la presencia de nieve. Este menor volumen modificaría el reparto de los flujos de fusión y evaposublimación (Scheidt *et al.*, 2024). En zonas sin nieve las sequías impactarían directamente en un *menor contenido de agua en el suelo*, provocando la sequía agrícola, que afectará a las especies forestales y a los cultivos, tanto de secano como de regadío (Bellvert *et al.*, 2025). Finalmente, podría existir una afección global por la *menor disponibilidad del volumen de agua en las masas superficiales y*

subterráneas, provocando así, la sequía hidrológica. La disminución en la disponibilidad de agua y el menor contenido de agua en el suelo puede producir un *descenso del nivel piezométrico* al verse afectada la recarga de acuíferos (Rouhani *et al.*, 2025), que a su vez puede favorecer la contaminación por intrusión salina en acuíferos costeros (Sanz y Galán, 2020). Las causas de la alteración en la recarga de acuíferos pueden ser naturales (reducción de la infiltración por sequía meteorológica e hidrológica), o antropogénicas (sobreexplotación de acuíferos por encima de su tasa de recarga, como sustitución de recursos no disponibles ante una sequía en el abastecimiento a la población y a los cultivos).

Como consecuencia de las sequías extremas de larga duración, y a partir de los impactos señalados, se han identificado una serie de **impactos y riesgos en cascada** relacionados con el propio sector Agua y recursos hídricos y con otros sectores.

La menor disponibilidad de agua hace que la cantidad de agua disponible en los sistemas de retención y regulación de la cuenca pueda verse reducida (Bellvert *et al.*, 2025; Pei *et al.*, 2025). Así, por ejemplo, con el descenso del volumen de agua en la capa de nieve se identifican riesgos relacionados con la disminución o incluso desaparición de actividades recreativas, deportivas tanto de la población local como del turismo de nieve, que afectará a las actividades económicas relacionadas (restauración y servicios). Otras áreas del *sector turismo* también podrían verse afectado por la menor disponibilidad y/o degradación de recursos hídricos, ocasionando la pérdida de usos recreativos (p. ej., navegación o pesca), o afectando a la experiencia del visitante (por pérdida de atractivos naturales y deterioro ambiental del medio) y la viabilidad económica del sector.

En el *sector salud*, cabe señalar el impacto sobre la salud de las personas que situaciones de contaminación del recurso hídrico, provocada por el menor volumen de agua disponible y el elevado aporte de contaminantes (p.ej., el vertido de aguas residuales), pueden provocar. La afección al *sector urbano* puede darse por alteraciones graves en el suministro; así como al *sector energía*, por pérdida de capacidad de generación de energía hidroeléctrica; y al *sector industria y servicios*, por provocar la interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios al requerir normalmente éstos un consumo de agua definido y constante (Valle-García et al., 2025). En cuanto al *sector agricultura y ganadería*, en situaciones de sequía extrema de larga duración, la menor disponibilidad de recursos superficiales y subterráneos y el menor contenido de humedad en el suelo provocan estrés hídrico. En esta situación se producen pérdidas económicas al poner en riesgo la productividad de los cultivos, pudiendo producirse pérdidas de cosechas, pérdida pastos y de alimento para ganadería, reducción de la oferta de productos y aumento de precios. La reducción de la oferta provoca reducción en la disponibilidad de materias primas en el sector industria y servicios. Todo ello puede provocar la pérdida de estabilidad del sector agrícola y ganadero, con el consecuente impacto sobre la salud mental de los agricultores y ganaderos, y

con efectos sobre el *sector financiero* por impago de préstamos y aumento de compensaciones ante las pérdidas y disminución de productividad en otros sectores. En este sentido, el Gobierno aprueba el Plan de Seguros Agrarios Combinados cada año, para subvencionar las pólizas y proteger a los agricultores frente a riesgos como heladas, sequías, inundaciones o viento, ayudando así a las explotaciones agrícolas a ser más resilientes. El Plan establece los distintos porcentajes de subvención que corresponden a los agricultores, ganaderos, acuicultores o productores forestales que aseguren su producción, contempla los criterios de preferencia en la asignación de subvenciones y determina los riesgos que serán cubiertos.

Debido a los impactos descritos en diversos sectores, esta situación propicia la generación de crisis y conflictos por los usos del agua, afectando al *sector paz y cohesión social*.

En el sector *patrimonio natural* el menor volumen en las masas de agua puede provocar la disminución, el deterioro e incluso la destrucción de humedales y hábitats de agua dulce, que dependen de la disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea para su supervivencia (Sanz y Galán, 2020). Como ejemplo, la pérdida de hábitats en humedales y zonas ribereñas conlleva perturbaciones ecológicas con implicaciones ambientales duraderas (Dobel *et al.*, 2020b; Ploskey, 1982), como es el caso de las aves acuáticas que habitan estos sistemas en épocas de reproducción (WWF, 2023). Aunque en situación de normalidad, los caudales ecológicos prevalecen sobre la mayoría de los usos productivos, en situación de sequía prolongada el Plan Hidrológico contempla la posibilidad de disminuir la magnitud de los caudales ecológicos para priorizar otros usos esenciales del agua, como el abastecimiento de la población. Esto podría afectar al mantenimiento de los ecosistemas agua abajo (Leone *et al.*, 2024; Martínez-Dalmau *et al.*, 2023), lo que puede derivar en un declive poblacional e incluso extinciones locales, además de la pérdida o degradación de servicios ecosistémicos. Además, el menor contenido de agua en el suelo puede provocar la desertificación y degradación de la tierra debido a la mayor aridez, deterioro y erosión del suelo. Los contaminantes antropogénicos adheridos a las partículas del suelo pueden verse arrastrados con los eventos de escorrentía superficial y contaminar los cursos de agua y embalses (Contreras *et al.*, 2023), causando efectos en los ecosistemas acuáticos que pueden persistir en el tiempo y dificultar la recuperación de los sistemas afectados tras esa contaminación (Schwalm et al., 2017).

Del mismo modo que el menor contenido de agua en el suelo afecta al sector agrícola y ganadero, puede afectar al *sector forestal* provocando la pérdida de masas forestales por el aumento de la desertificación y la degradación de la tierra debido a la mayor aridez y a la degradación y erosión del suelo. Además, también existe riesgo de pérdida de masas forestales por el aumento del peligro de incendio, que afectará al *sector salud* por el arrastre de cenizas que pueden alcanzar los cauces y masas de agua, provocando la degradación o destrucción de ecosistemas.

Ficha 1. Análisis del riesgo de daños por sequías extremas de larga duración

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Catastrófica	Catastrófica
	Aon (2024) estima las pérdidas por sequía en España en 2023 en 5.500 millones de euros. Villegas et al. (2024) simulan pérdidas del 0,88 % del PIB para sequía en España según datos de 2017. Motta et al. (2025) estima las pérdidas actuales en España por sequía en 0,7 % del PIB.	Los diferentes estudios indican un aumento en la frecuencia, duración y severidad de las sequías durante todo el siglo, con especial énfasis en la última treintena Motta et al. (2025) estima en el escenario de 1,5°C un aumento en las pérdidas del 35 % en España. Este aumento supondría un valor inferior al 1% del PIB.	Al igual que en el corto plazo, en el medio plazo la severidad, duración y frecuencia de las sequías seguirá en aumento. En este caso las pérdidas económicas, especialmente para el sector agrícola sí que podrían alcanzar la consideración de severidad catastrófica (Tramblay et al., 2020).	La frecuencia, duración y severidad de los periodos de sequía se prevé que aumentará hacia finales de siglo (MITECO, 2024). Según el Banco de España (Zarza, 2024), para sequías extremas de larga duración más severas, la pérdida sobre el PIB puede ser del 1,3 %.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Media · Medio	· Media · Medio	· Alta · Alto
	Diversos autores (Espinosa-Tasón et al., 2022; Torrelló-Sentelles y Franzke, 2022; Villegas et al., 2024) de publicación académica por pares aplican diferentes metodologías de manera global en España, o específica en las regiones más afectadas.	Los periodos analizados en la mayoría de los estudios no coinciden con este periodo, alcanzando el corto plazo hasta 2050, por lo que se considera que las condiciones no alcanzarán el siguiente nivel de severidad en el corto plazo.	Los estudios de proyección de la sequía no analizan este periodo en concreto, aunque hacen referencia al aumento de la severidad de los periodos de sequía, intensificándose hacia finales de siglo.	Existen varias publicaciones (García-Valdecasas et al., 2021; Jenkins, 2013; Soares et al., 2023) académicas que han analizado la tendencia actual y las proyecciones hacia finales de siglo, en los diferentes escenarios de niveles de calentamiento.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Los principales peligros son: (i) la reducción de la precipitación anual; (ii) los cambios en los patrones de distribución de la precipitación, (iii) y el aumento de la temperatura (aire, suelo, vegetación y agua).	Los siguientes elementos han sido identificados como expuestos ante este riesgo: • Población. • Ecosistemas naturales. • Bienes muebles e inmuebles. • Infraestructuras. • Actividades económicas.	Vulnerabilidad ambiental: • Estado de las masas de agua (cantidad y calidad). • Sobreexplotación de acuíferos Vulnerabilidad social: • Empleo sector primario y terciario. • Grupos sociales vulnerables. Vulnerabilidad de gobernanza: • Índices de explotación. Vulnerabilidad físico-tecnológica: • Disponibilidad de recursos alternativos (desalación, reutilización). • Manejo del suelo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	En la península ibérica hay cuatro cuencas hidrográficas cuyo territorio es compartido entre España y Portugal (Guadiana, Tajo, Duero y Miño-Sil). Por tanto, ha sido necesaria la creación de acuerdos entre ambos países para la gestión de estas (Convenio de Albufeira, 1998). Así, las situaciones de sequía tendrán efectos transfronterizos en la disponibilidad de recursos para ambos países.
Territoriales	Los estudios muestran que la distribución de las sequías se ha producido de manera heterogénea en la península ibérica (Vicente-Serrano et al., 2022). La tendencia a un mayor número de sequías y de mayor duración se da principalmente en el noreste y sur peninsular, mientras que, en el norte, especialmente en Galicia, la tendencia es hacia una disminución en el número de sequías (López-Díaz, 2023).
Sociales	Como factores sociales se identifica los grupos sociales vulnerables (bajos ingresos, enfermos, sin acceso a servicios básicos), que pueden ver limitado su acceso a agua, alimentos y otros recursos esenciales, especialmente ante restricciones o subida de precios. En los sectores primario y terciario, altamente dependientes del agua, se puede producir pérdida de empleo, con efectos negativos sobre el bienestar social e impacto sobre la salud mental de los trabajadores.
Maladaptación	El elevado número de presas en España ha supuesto una mayor resiliencia ante periodos de sequía a la hora de satisfacer las diferentes demandas. Sin embargo, esta demanda se ha visto aumentada por la falsa sensación de seguridad en la disponibilidad del recurso (López-Moreno et al., 2014).
Género	Un estudio reciente del Instituto de las Mujeres (2021) muestra que las mujeres tienen una mayor preocupación sobre los efectos del cambio climático y sus riesgos asociados, entre ellos las sequías. Además, son las mujeres las que toman más acciones para frenar los efectos del cambio climático. Las cargas de cuidado que a menudo recaen desproporcionadamente sobre las mujeres, y su preocupación ante los efectos de las sequías sobre ellas y sus hijos, hacen que se sientan más preocupadas y vulnerables.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Para la cuantificación de sequías extremas de larga duración se utilizan indicadores que determinan la probabilidad de lluvia cuantificando su déficit sobre periodos fijos de tiempo. Si se habla de larga duración de estos periodos, debe superar los 12 meses. Dentro de estos índices destaca el Indicador Normalizado de Sequía (SPI; McKee, 1993) que normaliza los valores de estas probabilidades de ocurrencia. Esta normalización permite determinar umbrales críticos. Así, si este índice está entre -1,0 y -1,49, se habla de sequía moderada, si los valores oscilan entre -1,5 y -1,99 hablamos de sequía media y si estos valores están por debajo de -2,0 hablamos de sequía extrema. Las proyecciones de cambio climático apuntan a que, en las primeras décadas del siglo XXI, las sequías extremas de larga duración serán más comunes y severas en la región noroccidental de la península ibérica para el RCP 4.5, y menos frecuentes, pero más duraderas en las otras regiones de la península ibérica para el RCP 8.5 (Lorenzo et al., 2024) (**Figura 3**).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	Debido a la falsa sensación de seguridad en la disponibilidad del recurso, en el sector agrícola, la mejora de la eficiencia del riego no ha supuesto una disminución de la demanda sino un aumento de la superficie regada (Polo et al., 2014). En un país como España, donde la tendencia es hacia una menor disponibilidad de recursos hídricos a lo largo del siglo XXI, es necesario invertir en políticas de desarrollo económico basadas en este uso intensivo del agua, para evitar riesgos de bloqueo para abastecimiento a otros usos y mantenimiento de los ecosistemas. En situaciones de sequía, la recarga subterránea de acuíferos se ve afectada por el menor volumen de agua disponible. En este contexto, la sobreexplotación de acuíferos se ve acentuada por la dependencia de pequeñas poblaciones y de zonas agrícolas de recursos subterráneos para su abastecimiento.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Las demarcaciones hidrográficas a través de los PHC gestionan los recursos disponibles y la asignación a los diferentes usos, debiendo considerar los efectos del cambio climático para anticiparse a los riesgos. Además, elaboran los Planes Especiales de Sequías (PES) como instrumento de gestión para hacer frente a episodios extraordinarios de sequía y escasez, con el objetivo de minimizar sus impactos ambientales, económicos y sociales. Ambas herramientas (PHC y PES) deben coordinarse correctamente en cada demarcación hidrográfica. Actualmente están vigentes los PHC correspondientes al tercer ciclo de planificación (2022-2027), estando en preparación los del cuarto ciclo (2028-2033). La última versión publicada de los PES de las cuencas intercomunitarias fue aprobada el 26 de diciembre de 2018, mientras que las de las demarcaciones intracomunitarias fueron aprobados entre los años 2017 y 2022. La versión revisada de los PES está en su fase final, e incorpora avances significativos en materia de adaptación al cambio climático.
Gobernanza de gestión del riesgo	La competencia en la gestión del riesgo de sequía la tienen los organismos de cuenca. Estos organismos pueden depender del gobierno central (Dirección General del Agua, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), cuando se trata de cuencas intercomunitarias, o de la administración hidráulica de la Comunidad Autónoma correspondiente, cuando se trata de cuencas intracomunitarias, a través de los PHC y PES descritos anteriormente. En el caso de cuencas transfronterizas, los gobiernos de ambos países son responsables de la gestión del riesgo mediante los Convenios correspondientes (Convenio de la Albufeira).
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas implementadas mediante los Planes Especiales de Sequía son fundamentales en la adaptación al riesgo actual y futuro. La gestión coordinada de los PHC y los PES en cada demarcación hidrográfica permitirá atenuar los efectos de las sequías y realizar una gestión de la escasez antes de que se produzca.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto negativo del riesgo en la descarbonización por diversos factores: • Debido al estrés hídrico y la disminución en la vegetación, esta pierde la capacidad de fotosíntesis y de absorber carbono. • Menor capacidad de generación de energía hidroeléctrica, lo que puede aumentar la dependencia de combustibles fósiles. • Aumento del riesgo de incendios forestales en los que se libera gran cantidad de carbono en la atmósfera. • Además, algunas medidas como el fomento de la desalación o el incremento en los umbrales de depuración, previsiblemente incrementará el consumo energético. Por otro lado, la descarbonización puede tener sobre el riesgo tanto impactos positivos como negativos: • Positivo. En la industria y en la generación de energía puede verse disminuida la demanda de agua ante políticas de descarbonización como promoción de eficiencia energética y la transición a energías renovables. • En contraposición, el impacto puede ser negativo, ya que la transición a una economía baja en carbono que puede tener impactos económicos importantes en la agricultura y en la industria.
Déficits de información	Al ser las sequías un fenómeno recurrente en nuestro clima, la información disponible al respecto es muy amplia, no habiéndose encontrado un déficit de información que haya limitado el análisis de este riesgo clave.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.2. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales

El segundo riesgo clave priorizado se corresponde con el **riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales.** Se trata de un riesgo reconocido en la literatura (IPCC, 2023; Jodar-Abellan, 2019; MITECO, 2020; Sanz y Galán, 2020).

Las inundaciones pueden ser de carácter pluvial, cuando la precipitación genera un volumen de escorrentía que no puede ser drenado; o de carácter fluvial, cuando la inundación es causada por el desbordamiento de los cauces de ríos o arroyos; o de carácter combinado cuando ambas ocurren de manera simultánea. Para uno u otro tipo, las causas más comunes de las inundaciones son: a) precipitación abundante e intensa que normalmente afecta a la mayor parte de la cuenca; b) precipitación muy intensa en cuencas pequeñas que genera crecidas repentinas (crecidas súbitas, relámpago o flash floods); c) precipitación intensa muy localizada sobre zonas con escaso drenaje o áreas urbanas; d) fusión repentina de la capa de nieve como consecuencia de un aumento de la temperatura o por eventos de lluvia sobre la capa nieve (MITECO, 2018b). Establecer el origen de la inundación permite identificar los factores relacionados con este riesgo, lo que hace posible analizarlo de manera más precisa.

En la historia reciente de España (siglo XX y XXI) ha habido inundaciones que han tenido importantes daños personales y materiales. Sin embargo, la mayor inundación en España por su magnitud y repercusión, antecedida por la de a riada de Santa Teresa (1879), en la cuenca del río Segura, que causó casi 800 muertes y cuantiosos daños materiales y económicos y la de Vallés (1962), con una cifra de entre 600 y 1000 víctimas mortales, ha sido la causada por la reciente DANA de octubre de 2024 en Valencia y otras zonas del Mediterráneo (Albacete, Cuenca y Málaga). En esta inundación la repentina crecida de cauces produjo la pérdida de 232 vidas humanas (224 en la Comunidad Valenciana, 7 en Castilla-La Mancha y 1 en Andalucía) (Moncloa, 2025). Durante este episodio, en Valencia la precipitación acumulada en el día en que se produjeron los impactos más graves superó los valores extraordinarios registrados, llegando a los 771 mm registrados en Turis (Valencia), de los cuales 185 mm se acumularon en tan solo una hora. Estas precipitaciones extraordinarias ocurrieron en zonas de interior localizadas por encima de los 1.000 m sobre el nivel del mar, generando violentas riadas que llegaron a localidades del litoral donde apenas llovió. A la enorme pérdida de vidas humanas se suman los miles de personas de las poblaciones afectadas, que no sólo sufrieron daños materiales y en infraestructuras, sino también pérdida de servicios básicos que afectaron a la vida cotidiana. Pérez *et al.* (2025) identifican los efectos de la inundación de Valencia desde una perspectiva económica, estimando que, del conjunto de los 89 municipios afectados, resultaron afectados 1.084.513 habitantes, lo que supone el 40 % de la provincia de Valencia, 63.182 empresas (sin incluir el sector primario),

353.507 empleados, el 30,7 % de la provincia de Valencia, y un valor añadido bruto afectado de 20.107 millones de euros, que supone el 29,7 % del PIB de la provincia de Valencia.

La **Figura 4** muestra la cadena de impacto del riesgo clave, incorporando los componentes esenciales del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de la acción combinada de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco, donde confluyen los impactos físicos que resultan de los peligros, los elementos expuestos y los atributos que determinan su nivel de vulnerabilidad. A partir de este nodo central se despliegan las consecuencias del riesgo en forma de impactos directos, así como de riesgos en cascada, tanto propios del sector como derivados de su interrelación con otros sectores.

La **Figura 4** muestra los principales **peligros climáticos** del RC2.2, como motores de la generación del riesgo: *cambios en la dinámica de fusión de la capa de nieve, cambios en los patrones de distribución de la precipitación*, el *aumento de la torrencialidad de la precipitación, y el aumento de la temperatura*.

Los *cambios en la dinámica de fusión de la capa de nieve* se manifiestan en un adelanto de la fusión que puede desencadenar episodios de crecida en los ríos (Hansen *et al.*, 2014). En algunos años con volumen de agua acumulada en forma de nieve superior a la media, (p.ej., en 2003, 2005, 2007), se ha observado una fusión muy rápida, lo que hace que se adelante el aporte de caudal a los cursos fluviales en al menos un mes respecto a la situación habitual, pudiendo derivar en inundaciones fluviales (ERHIN, 2008). Estos episodios suelen ser frecuentes en demarcaciones hidrográficas en cuyas cabeceras los volúmenes de nieve estacional son considerables, como las del Duero o el Ebro (MITECO, 2018a; MITECO, 2021b).

Los *cambios en los patrones de distribución de la precipitación,* en la cantidad, frecuencia y distribución espacial de la lluvia y la nieve, afectan a la disponibilidad de agua. En este sentido, las proyecciones de cambio climático apuntan a un aumento de los extremos superiores de precipitación, especialmente a lo largo de la costa mediterránea y el sur de la península en los meses de verano y comienzo del otoño (Molinié *et al.*, 2016). Del mismo modo, los estudios de Zittis *et al.* (2021) y del Jesus y Díez-Sierra (2023) prevén un aumento de las precipitaciones extremas de 50 y 100 años de periodo de retorno, las cuales se encuentran asociadas a riesgos de inundaciones. Asimismo, se apunta a un incremento de las precipitaciones para intervalos temporales más cortos y, por lo tanto, a un *aumento de la torrencialidad* (CEDEX, 2017) y las inundaciones asociadas (Ruane *et al.*, 2022).

Finalmente, *el aumento de la temperatura* incrementa la cantidad de vapor de agua en el aire. En zonas montañosas del Cantábrico, Pirineo, Sierra Nevada y Sistema Central se ha constatado

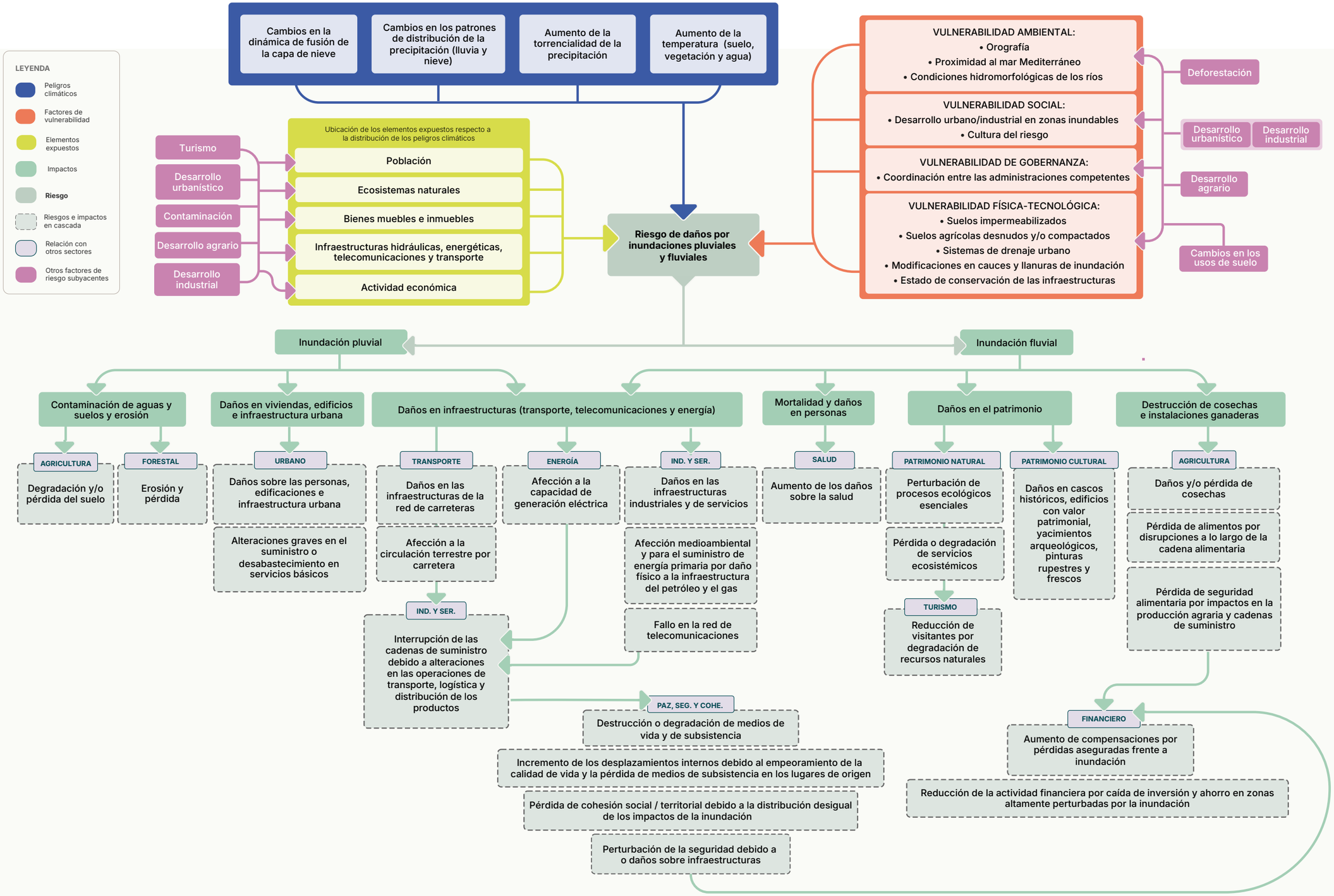


Figura 4. Cadena de impacto. RC2.2. Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales.

un aumento de la temperatura de entre 1 y 2 °C en las últimas décadas (ERHIN, 2008; 2011). La ley de Clausius-Clapeyron establece que, por cada grado de calentamiento, el aire saturado contiene un siete por ciento más de vapor de agua en promedio (Douville *et al.*, 2021). Por lo tanto, cada fracción adicional de calentamiento aumenta el contenido de humedad atmosférica, lo que a su vez aumenta el riesgo de eventos de precipitaciones extremas (Barriendos *et al.*, 2019) y episodios de lluvias intensas (Ranasinghe *et al.*, 2021), con el consecuente efecto en el régimen de inundaciones. Además, este aumento de temperatura supone un adelanto de la fusión de la nieve y una disminución en los picos de caudal en primavera (López-Moreno y García-Ruiz, 2004).

Los **elementos expuestos** identificados en el RC2.2 son los localizados en zonas inundables e identificados en la **Figura 4**: la *población, los bienes muebles e inmuebles, infraestructuras hidráulicas, energéticas, de telecomunicaciones y transporte, los ecosistemas naturales y la actividad económica*. Alfieri *et al.* (2017) estiman que 216.000 personas están expuestas cada año a las inundaciones en Europa. Según MITECO (2021a) en las cuencas intercomunitarias de España, 2,7 millones de personas viven en zonas con probabilidad de inundarse una vez cada 500 años, de las que cerca de medio millón vive en áreas que se inundan de media una vez cada diez años. Ante un evento de inundación pueden verse expuestos *bienes inmuebles* (p.ej., terrenos, viviendas, edificios, estructuras, sistemas de servicios públicos) y muebles (vehículos, maquinaria industrial y agrícola, cultivos y ganado). De igual modo, resultan expuestas *infraestructuras hidráulicas* (presas, canales), *energéticas* (tendidos eléctricos, centros de transformación, centrales hidroeléctricas y térmicas), *de transporte* (carreteras, ferrocarril) y *de telecomunicaciones* (líneas de telefonía). Los componentes bióticos (flora y fauna) y abióticos (suelo) de los *ecosistemas naturales* también están enormemente expuestos durante y tras una inundación (ESPON, 2021). Por último, la *actividad económica* en torno al área afectada por la inundación ya sea de carácter agrícola, comercial, turística o industrial, se verá afectada por daños en las propiedades o interrupción en la producción y prestación de servicios.

Al igual que en los análisis anteriores se han distinguido 4 tipos de **factores de vulnerabilidad** para el RC2.2.

Como factores de **vulnerabilidad ambiental** se han identificado la *orografía*, la *proximidad al mar Mediterráneo* y *las condiciones hidromorfológicas de los ríos*. La combinación de aire cálido cerca de la superficie, impulsado por la alta humedad del cálido mar Mediterráneo, junto con la inestabilidad provocada por el aire frío en las capas superiores de la atmósfera, da origen a grandes masas convectivas que pueden provocar intensas lluvias e inundaciones repentinas (Amponsah *et al.*, 2018). Por otro lado, cauces rectificados, en los que se han construido diques y motas como medidas estructurales contra inundaciones y se han eliminado meandros naturales, provocando

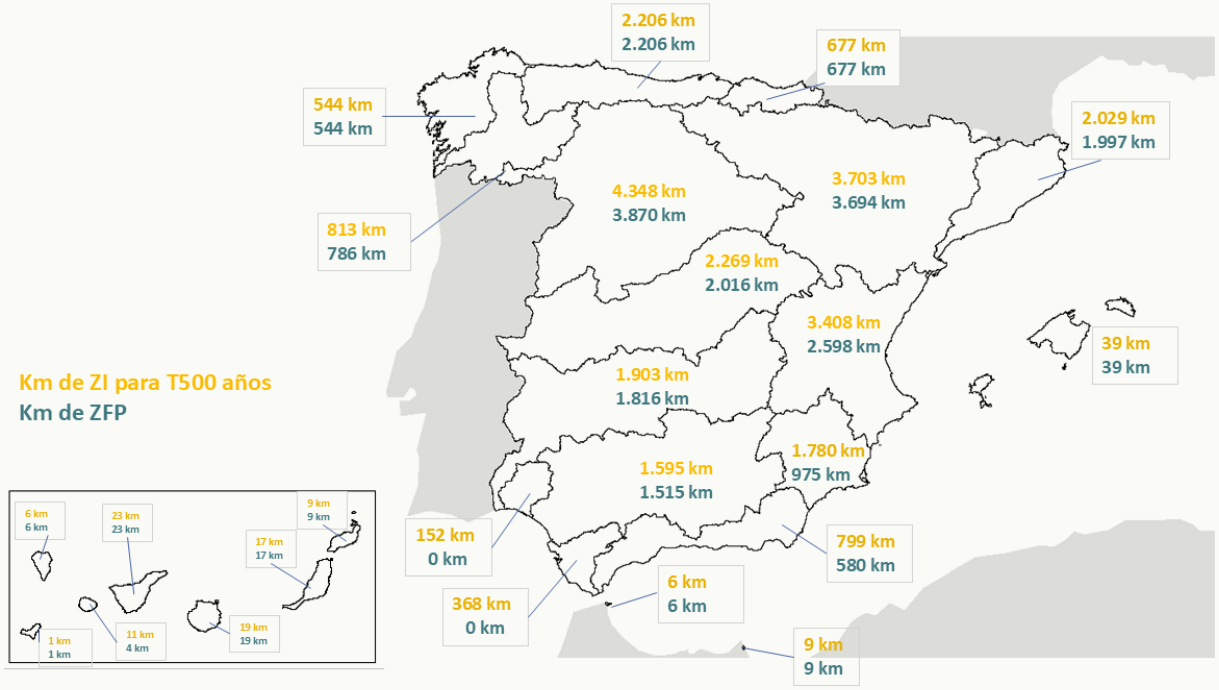


Figura 5. Mapa de cifras de kilómetros de zonas inundables para T500 años (ZI*, en amarillo) y zona de flujo preferente (ZFP**, en azul) para cada demarcación hidrográfica determinadas por el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. (Fuente: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi.html) (*ZI asociada al periodo de retorno T, es aquella zona que una vez definidos los caudales y a partir del estudio hidráulico realizado por las autoridades competentes, queda definida por la extensión de área que queda inundada asociada a esa frecuencia (T = 500 años en este caso); **ZFP, es aquella zona constituida por la unión de las zonas donde se concentra preferentemente el flujo durante las avenidas y de la zona donde para la avenida de 100 años de periodo de retorno se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes).

la desconexión con humedales, inciden directamente en la ocupación del espacio del río que, de una manera u otra, intenta recuperar su espacio, agravando por un lado el riesgo de inundación y, por otro, causando la degradación de los ecosistemas asociados (Ollero, 2010).

Respecto a los factores de **vulnerabilidad social** se han identificado el *desarrollo urbano e industrial en zonas inundables* y la necesidad de fomentar *la cultura del riesgo*. La Directiva de Inundaciones (EC, 2007) considera la conveniencia de establecer PGRI, que obligan a definir las áreas catalogadas como inundables, con el objetivo de reducir los impactos negativos de las inundaciones en una zona determinada. Las zonas donde el desarrollo urbano e industrial ha ocupado las llanuras aluviales y áreas catalogadas como inundables son especialmente vulnerables ante el riesgo de daños por inundación. Según el Visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas

Inundables (SNCZI), las cuencas hidrográficas con más zonas inundables son Duero (4348 km), Ebro (3703 km), Júcar (3408 km), Tajo (2269 km) y Cantábrico (2206 km) (**Figura 5**). Las comunidades que habitan áreas más propensas a inundarse, como cauces de ríos, zonas con altas pendientes y llanuras aluviales, poseen una mayor sensibilidad a las inundaciones y un comportamiento social basado en la adaptación de actividades y estrategias de prevención para mitigar los daños causados por las inundaciones (Devitt et al., 2023). Sin embargo, la limitada cultura del riesgo en el contexto del cambio climático aumenta la vulnerabilidad ante el RC2.2, siendo necesaria la concienciación y preparación de la sociedad para minimizar y afrontar los impactos (Höllermann & Heidenreich, 2025).

En cuanto a la **vulnerabilidad de gobernanza**, es preciso avanzar en la *coordinación entre las administraciones competente*s, logrando la eficacia y resolución de conflictos en las llanuras de inundación ocupadas y velando por el interés general. En este sentido, por ejemplo, el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, establece que los PGRI contemplen, en lo posible, medidas de ordenación territorial y urbanismo a desarrollar por parte de los ayuntamientos y comunidades autónomas a través de instrumentos de planificación como los Planes Generales de Ordenación Urbana (PGOU) o Planes de Ordenación Municipal (POM). Estas medidas incluirán al menos limitaciones a los usos del suelo planteadas para la zona inundable en sus diferentes escenarios de peligrosidad, los criterios empleados para considerar el territorio no urbanizable, y los criterios constructivos exigidos a las edificaciones situadas en zona inundable.

Por otro lado, la **vulnerabilidad físico-tecnológica** a los peligros aumenta en *suelos agrícolas desnudos y/o compactados por el uso de maquinaria agrícola*, *suelos urbanos impermeabilizados* por asfaltado parcial o total, y con *sistemas de drenaje urbano deficientes* y territorios con ramblas y barrancos, que apenas contribuyen a retener los caudales de crecida, y también a evitar la generación y el transporte de una enorme carga sólida (MITECO, 2019; Sánchez-Almodovar *et al.*, 2022). Para prevenir o mitigar los daños causados por inundaciones se han diseñado medidas de adaptación estructurales que *modifican el cauce y la llanura de inundación* (como diques, embalses o sistemas de drenaje) y no estructurales (como planificación urbana, sistemas de alerta temprana o concienciación pública). Sin embargo, cambios en la dirección y magnitud de los peligros climáticos indican cambios en los umbrales de las variables climáticas a considerar, por ejemplo, en la altura de agua o caudal que esas obras de protección tendrían que soportar. Son necesarias nuevas evaluaciones de los umbrales de peligros climáticos adaptados a los niveles de tolerancia de los sistemas de control de inundaciones actuales, cambios en las infraestructuras o en los PGRI, (Ruane *et al.*, 2022), mediante, por ejemplo, su actualización a las actuales condiciones hidromorfológicas de los tramos. Del mismo modo, cambios en nuestro sistema socioeconómico para adaptarnos a la nueva situación, como la reubicación de asentamientos humanos que estén en zonas de riesgo y la promoción de un desarrollo urbano respetuoso con los cursos de agua, junto con políticas de adaptación que modifiquen los estilos de vida y el uso del suelo, ayudarían a coexistir con el fenómeno y a minimizar sus impactos.

Los principales **factores de riesgo subyacentes** que influyen en el riesgo RC2.2 son el *desarrollo urbanístico, agrícola, industrial y turístico*, que han hecho que, asentamientos humanos, en búsqueda de acceso al agua, fertilidad de las tierras y experiencias de ocio, hayan ocupado las llanuras de inundación, rectificando cauces y construyendo diques que han alterado las condiciones hidromorfológicas de los ríos. Esto ha llevado a la *deforestación y cambios de uso de suelo*, dando lugar a suelos agrícolas desnudos y/o compactados por el uso de maquinaria agrícola, y suelos urbanos impermeabilizados por asfaltado parcial o total que no ayudan a retener los caudales de crecida y tienen elevadas tasas de erosión, generado importante carga sólida que es puede ser transportada durante las riadas.

Las inundaciones son el peligro natural que produce las mayores pérdidas económicas, con costes de indemnización de 7800 millones de euros por daños en bienes y de 51.541 millones de euros por daños personales durante el período 1987-2023 (CCS, 2024). Así, este riesgo tiende a causar innumerables **impactos** significativos, y cientos de miles de afectados. Las inundaciones causan generalmente daños materiales que incluyen impactos directos, como *daños en viviendas, edificios e infraestructura urbana* incluyendo vehículos y comercios, que conllevan además importantes costes de limpieza, y reemplazo de las pérdidas. También causan *daños por erosión y contaminación de agua y suelos* debido al arrastre de suelo y sustancias asociadas al mismo durante los episodios de escorrentía torrencial. Del mismo modo, pueden causar principalmente *mortalidad y daños en personas, destrucción de cosechas e instalaciones ganaderas,* incluyendo los cultivos, el ganado y maquinaria*; y daños en el patrimonio,* tanto en el natural (masas de agua, bosques, fauna y flora que estos sistemas albergan) como cultural (cascos históricos, yacimientos arqueológicos). Finalmente, cabe destacar los daños directos en *infraestructuras de transporte, de energía, de telecomunicaciones e hidráulicas,* como pueden ser en la red de carreteras, ferrocarril, tendidos eléctricos, centros de transformación, centrales hidroeléctricas y térmicas, líneas de telefonía, presas y canales.

Cualquier inundación importante implica numerosos **impactos y riesgos en cascada** en numerosos sectores Los riesgos en los *sectores agrícola y forestal* derivan del arrastre de los suelos y partículas adheridas en zonas forestales y agrícolas, produciendo fenómenos de erosión y pérdida de suelo en los campos agrícolas y dañando la vegetación existente y depositando sedimentos que sellan el suelo en zonas forestales. Por otro lado, en los *sectores de transporte, urbano, energía e industria* también pueden ocurrir riesgos de enorme trascendencia al resultar dañadas las infraestructuras vitales como las de transporte, electricidad, telecomunicaciones, agua, gas e hidrocarburos (Gil-Guirado *et al.*, 2022; Knittel *et al.*, 2025; Oliva y Olcina, 2024; Pescaroli y Alexander, 2016). Su impacto se refleja en alteraciones graves en las cadenas de suministro de servicios básicos por disminución de la productividad o interrupción de las actividades. Los *sectores de patrimonio natural y patrimonio cultural* también se ven afectados por los impactos en ecosistemas, edificios de valor histórico, o yacimientos arqueológicos. Las inundaciones impactan en los lechos de los ríos, reducen la calidad del agua y aumentan la carga de sedimentos, lo que acelera la deposición en ríos, estuarios, lagos, humedales y embalses (Hooke, 2016; Parasiewicz *et*

al., 2019, Si *et al*., 2022). Por otro la turbidez del agua generada por los sedimentos arrastrados puede reducir la luz disponible para la fotosíntesis de las plantas acuáticas parcialmente sumergidas, afectado a su desarrollo (Megina *et al*., 2023; Shrestha *et al.,* 2019). Todos estos daños pueden derivar en diferentes riesgos en los *sectores financiero* y *paz, seguridad y cohesión social*. Por un lado, las inundaciones conllevan una necesidad de inversión para reparación y refuerzo de las infraestructuras y costes sociales (Ward *et al*., 2017). Por otro, el riesgo de inundación intensifica la presión sobre los presupuestos públicos y afecta a gran parte del sistema financiero por reducción de la actividad financiera y compensación de las pérdidas aseguradas en todos los sectores (Jewson *et al*., 2023). Además, los impactos de las inundaciones elevan las tasas de mortalidad y de enfermedades físicas y mentales, afectando al *sector salud*, especialmente de los sectores de la población con menos recursos (Mas-Coma *et al*., 2025).

Ficha 2. Análisis del riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Catastrófica	Catastrófica	Catastrófica
	Dottori et al. (2020) cuantifican los daños anuales por inundaciones fluviales en España en un 0,04 % del PIB. A esta cifra habría que añadir los daños por inundaciones pluviales. Por otro lado, a partir de los datos del CCS (2024), que toma como referencia el periodo 1971-2023, la media anual de indemnizaciones por daños por inundación es de más de 170M€. Sin embargo, pueden ocurrir episodios de inundación excepcionales como el ocurrido en Valencia en octubre de 2024, que elevan la cifra de daños y costes aumentando el nivel de severidad de este riesgo. En estas inundaciones 232 personas perdieron la vida y 1.084.513 habitantes resultaron afectados, con pérdidas de un valor añadido bruto afectado de 20.107 M€, que supone más del 1 % del PIB nacional. En cualquier caso, la cifra de personas que viven en zonas con riesgo de inundación, con probabilidad de inundarse en promedio cada diez años se aproxima a las 500.000 personas (EFE, 2024), y la estimación del valor de la producción agrícola en zona inundable se acerca a los 2.000 M€ (MITECO, 2021c).	MITECO (2021c) revela un aumento del riesgo de inundación para el periodo de retorno de 500 años, en los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5, especialmente para las cuencas del Ebro y el alto Guadiana, el bajo Segura, los grandes núcleos poblacionales y las zonas de invernaderos del sur. Además, las proyecciones climáticas muestran un aumento significativo de eventos de caudal máximo por encima del periodo de retorno de 100 años, y un aumento de la magnitud de las inundaciones. Para este periodo de retorno MITECO (2021c) cuantifica en casi 1,5M de personas en zonas inundables, convirtiéndose la severidad en catastrófica.	Al igual que en el corto plazo, en el medio plazo se espera un aumento del riesgo de inundación, con una población expuesta de 1,5M de personas (MITECO, 2021c).	Al igual que en el corto y medio plazo, en el largo plazo se espera un aumento del riesgo de inundación, siendo la población del periodo de retorno de 500 años de 2,7M de personas (MITECO, 2021c).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Media · Medio	· Media · Medio	· Alta · Alto
	Diversos autores de publicación académica revisadas por pares (Gil-Guiraldo et al., 2022; LLasat et al., 2021; Mediero et al., 2014) señalan factores de vulnerabilidad al aumento de las inundaciones (en número y extensión) por tormentas de tipo convectivo en cuencas pequeñas y caudales elevados en cuencas medianas y grandes. Publicaciones oficiales (WWA, 2024) destacan un aumento de los extremos de precipitaciones diarias en los últimos 75 años.	Diversos autores de publicación académica revisadas por pares (Amblar et al., 2017; Valdes-Abellan et al., 2017) indican un aumento de las temperaturas, especialmente en las zonas interiores y del este, lo que augura un aumento de precipitaciones extremas. Los resultados del proyecto EURO-CORDEX para España (Carvalho et al., 2022) muestran un aumento de las precipitaciones máximas para 2021-2040. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2020. No obstante, teniendo en cuenta la elevada incertidumbre de las proyecciones climáticas, no siempre se obtienen datos cuantitativos, especialmente en el corto y medio plazo.	Carvalho et al. (2022) prevén un aumento de las precipitaciones máximas para el período 2042-2070, especialmente en las cuencas del suroeste (Tinto-Odiel), Galicia Costa, Cuencas Internas de Cataluña y Júcar. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2050.	En el período 2081-2100, Carvalho et al. (2022) prevén un incremento importante en el porcentaje de cambio de precipitación extrema para las cuencas del Duero, Guadalquivir y Tajo. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2080. El de aumento de eventos extremos en las grandes cuencas atlánticas ibéricas concuerda con los estudios publicados por Alfieri et al. (2017).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Los principales peligros climáticos descritos son: i) cambios en la dinámica de fusión de la capa de nieve; ii) cambios en los patrones de distribución de la precipitación; iii) aumento de la torrencialidad; iv) aumento de la temperatura (aire, suelo, vegetación y agua).	Los elementos que podrían verse afectados negativamente por los peligros climáticos son: • Población. • Ecosistemas naturales. • Bienes muebles e inmuebles. • Infraestructuras. • Actividad económica.	Existen diversos factores de diferente índole que aumentan la vulnerabilidad al riesgo. Vulnerabilidad ambiental: • Orografía. • Proximidad al mar Mediterráneo. • Condiciones hidromorfológicas de los ríos. Vulnerabilidad social: • Desarrollo urbano/ industrial en zonas inundables. • Cultura del riesgo. Vulnerabilidad de gobernanza: • Coordinación entre administraciones competentes. Vulnerabilidad física-tecnológica: • Suelos impermeabilizados. • Suelos agrícolas desnudos y/o compactos. • Sistemas de drenaje urbano. • Modificaciones en cauces y llanuras de inundación. • Estado de conservación de las infraestructuras.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Las inundaciones provocan daños en los cultivos, edificios e infraestructuras (de energía, transporte, comunicaciones) que pueden tener impactos más allá de nuestras fronteras, produciendo interrupciones en el transporte, en la cadena de suministro, y pérdidas económicas en diversos sectores. Asimismo, también pueden producirse desplazamiento de la población, afección al turismo, desplazamiento de empresas de zonas inundables o debilitamiento del sistema financiero del país. En la península ibérica hay cuatro cuencas hidrográficas cuyo territorio es compartido entre España y Portugal (Guadiana, Tajo, Duero y Miño-Sil). El Convenio de la Albufeira de 1998 se creó para regular la cooperación y protección de las cuencas de ambos países, trasladándose la necesidad de su aplicación en el caso de inundaciones en el Real Decreto 903/2010, en su artículo 20.
Territoriales	Las cuencas hidrográficas con más zonas inundables son la del Duero (4348 km), Ebro (3703 km), Júcar (3408 km), Tajo (2269 km) y Cantábrico (2206 km). Para inundaciones con periodo de retorno de 500 años, las cuencas hidrográficas con mayor población en zonas inundables son Guadalquivir, Segura y Júcar, seguidas por Duero, Ebro y Cantábrico Oriental. Las proyecciones señalan que las mayores variaciones en las precipitaciones máximas anuales (acumulada a lo largo de un día) se dan en la cuenca del Guadiana, Tajo, Duero, cuencas internas de Cataluña, Júcar, Segura y Ebro (CEDEX, 2021).
Sociales	Normalmente afecta a sectores de la población con menos recursos, que se suelen localizar en áreas de drenaje a cota baja que coinciden con áreas inundables y quedan desprovistos de infraestructuras y servicios vitales críticos (como las telecomunicaciones, la electricidad y el agua) (Devitt et al., 2023). El sector terciario es el más afectado, la mayoría de los establecimientos comerciales se ubican en las plantas bajas de los edificios y, por lo tanto, son propensos a inundaciones en caso de desbordamiento (Gil-Guirado et al., 2022). También hay un coste de interrupción de las actividades, pérdidas de producción por falta de suministro de materias primas de proveedores y clientes de empresas directamente afectadas por el riesgo.
Maladaptación	Algunas medidas de protección y mitigación como construcción de diques y motas, rectificación de cauces, eliminación de meandros o invasión de llanuras de inundación inciden directamente en la ocupación del espacio fluvial, que de una u otra manera, intenta recuperar su espacio. En la mayoría de los casos, estas medidas han agravado los riesgos de inundación, desplazando e incrementando el riesgo de inundación aguas abajo, o aguas arriba dificultando la evacuación. Además, estas medidas puestas en marcha hace años, en algunos casos se encuentran obsoletas y no son efectivas, de hecho, aproximadamente el 25 % de las adaptaciones evaluadas relacionadas con el agua presentan cobeneficios mientras que en un 33 % de los casos se han descrito situaciones de maladaptación (OECC, 2022).
Género	Las mujeres, frecuentemente, tienen menos acceso a recursos, información y poder de toma de decisiones, lo que las hace más vulnerables durante las inundaciones. Además, las cargas de cuidado a menudo recaen de manera desproporcionada sobre las mujeres, lo que puede dificultar su capacidad para responder y recuperarse de los desastres. De hecho, estudios recientes (Instituto de las Mujeres, 2021) indican que las mujeres presentan mayor preocupación que los hombres a todos los tipos de riesgos, pero especialmente a fenómenos extremos, entre ellos las inundaciones.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales críticos asociados a este riesgo quedan determinados por el área que puede ser afectada por eventos de igual magnitud que presentan determinada recurrencia. Para la definición de esta recurrencia se utiliza el concepto de periodo de retorno (T). El periodo de retorno indica el tiempo promedio que transcurre entre dos eventos de una misma magnitud, es decir, un evento con un periodo de retorno de 10 años significa que, en promedio, podemos esperar que una inundación de esa magnitud ocurra una vez cada 10 años. En función de ese valor de periodo de retorno se definen una serie de umbrales críticos. Así, se habla de zonas inundables (ZI) con: • Alta probabilidad de inundación (T=10 años). • Inundación frecuente (T= 50 años). • Probabilidad media y ocasional (T=100 años). • Probabilidad baja o excepcional (T=500 años).
Lock-in/Bloqueo	Las medidas adoptadas para la gestión de inundaciones han estado tradicionalmente ligadas a la construcción de infraestructuras, generalmente de contención, las cuales se ha comprobado que no sólo disminuyen la percepción social del riesgo aumentando la vulnerabilidad, sino que en muchas ocasiones han aumentado la magnitud de la inundación debido al forzamiento del recorrido del agua, con consecuencias aguas abajo, al desplazar e incrementar el peligro de inundación, y aguas arriba, dificultando la evacuación.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo, la DMA 2000/60/CE, establece un marco para la gestión integrada de los recursos hídricos, incluyendo la gestión del riesgo de inundaciones. Así, incluye la prevención del deterioro y la mejora de la calidad de las masas de agua y el establecimiento de PHC que incluyan medidas para prevenir y mitigar los efectos de las inundaciones. Además, la Directiva de Inundaciones (Directiva 2007/60/CE) se centra específicamente en la gestión del riesgo de inundaciones y requiere que los Estados miembros evalúen preliminarmente el riesgo de inundación en sus cuencas hidrográficas y zonas costeras. En España, el Real Decreto 903/2010 de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación transpuso la Directiva de Inundaciones de la Unión Europea y creó los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI) a nivel de demarcación hidrográfica. Los PGRI abordan la gestión de inundaciones mediante la identificación de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI) que definen la peligrosidad y riesgo de inundación, considerando escenarios de alta, media y baja probabilidad de inundación; la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI); y la adopción de medidas adecuadas y coordinadas para reducir el riesgo de inundación en esas zonas, centradas en la población, las actividades económicas, los puntos de especial relevancia y los aspectos ambientales. Además, en España se establece un marco general para la protección civil ante diversas emergencias, incluidas las inundaciones: • Real Decreto 407/1992: aprueba la Norma Básica de Protección Civil, que incluye la planificación de emergencias por inundaciones. • Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones: define los requisitos mínimos para los planes de emergencia ante inundaciones, incluyendo la organización, criterios operativos y medidas de intervención. • Planes Especiales de Protección Civil: elaborados por las Comunidades Autónomas, se basan en la Directriz Básica y abordan las emergencias por inundaciones.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	La gestión del riesgo es coordinada entre diferentes niveles de gobierno y organismos. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Dirección General del Agua, establece el marco general para la elaboración de los planes de gestión del riesgo de inundación. Cada Confederación Hidrográfica es la encargada de la elaboración e implementación de su plan de gestión de riesgo de inundación. Para ello, en primer lugar, realiza la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI) a partir de datos de inundaciones históricas y potenciales, en coordinación con las autoridades de protección civil y otros órganos competentes. Así, se obtienen las Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI), que son sometidas a consulta pública. Tras el análisis de las alegaciones, se elabora la propuesta definitiva y es aprobada por el gobierno autonómico en el caso de cuencas intracomunitarias, o por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico para las cuencas intercomunitarias. Además, las autoridades locales y los servicios de protección civil juegan un papel crucial en la gestión de emergencias y la respuesta a inundaciones a nivel municipal. Además, en las Demarcaciones Hidrográficas transfronterizas se establece la necesaria coordinación en la elaboración y ejecución de los planes de gestión del riesgo de inundación.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La implementación de medidas de adaptación al riesgo puede contribuir significativamente a disminuir las pérdidas económicas, a mejorar la seguridad de los usuarios y a crear sociedades más resilientes (López-Ortiz, 2020; Sánchez-Almodóvar et al., 2022). Desde el Gobierno se ha impulsado las guías de adaptación al riesgo de inundación para 1) edificios (MAPAMA, 2017a), 2) explotaciones agrícolas y ganaderas (MITECO, 2019a), y 3) sistemas urbanos de drenaje sostenible (MITECO, 2019b). También se han desarrollado una serie de recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables (MITECO, 2019c) y una guía de apoyo a la ordenación del territorio para la aplicación del reglamento del dominio público hidráulico en zonas inundables (MITECO, 2019). Los sistemas de alerta temprana son una herramienta fundamental para anticipar y comunicar eficazmente la inminencia de la inundación, integrando evaluación y conocimiento del riesgo, vigilancia y previsión de peligros y servicio de alerta, difusión y comunicación del riesgo y capacidad de respuesta. Además, el Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático (PIMA Adapta) promueve medidas de adaptación y acción a todos los niveles (administrativo, académico, privado y ONG), ejecutando numerosos casos piloto. Incluye medidas específicas para recursos hídricos y dominio público hidráulico. Por último, existe una tendencia a la adopción de medidas basadas en la naturaleza (Nature Based Solutions – NBS) que hagan que la nueva infraestructura para la gestión de inundaciones se realice siguiendo los caminos naturales del agua y no conteniéndolos como se ha realizado tradicionalmente. Un ejemplo es el proyecto LIFE Ebro Resilience P1, que realiza la recuperación de llanuras aluviales y bosque ribereño, implicación de la población local, creación de hábitats para especies amenazadas y eliminación de especies exóticas invasoras.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	El impacto del riesgo en la descarbonización es negativo ya que los daños a las infraestructuras de generación de energía renovable (hidroeléctrica, eólica, solar), pueden afectar y retrasar la transición a fuentes de energía más limpia. Además, la interrupción de servicios, como infraestructuras de transporte, necesaria para la distribución de bienes y servicios, así como las acciones necesarias para recuperar zonas afectadas por la inundación, pueden dificultar la implementación de soluciones de descarbonización, e incluso aumentar la liberación de gases de efecto invernadero. La inundación puede liberar contaminantes en el agua que produzcan la destrucción o pérdida de biodiversidad de ecosistemas naturales, que también pueden verse destruidos en la propia inundación. Estos ecosistemas (p. ej. humedales) actúan como sumideros naturales de carbono, por lo que su pérdida y/o degradación podría agravar la situación. Por otro lado, la descarbonización tiene un impacto positivo sobre el riesgo, ya que los planes de adaptación y gestión del riesgo de inundación pueden promover la inversión en infraestructuras sostenibles para la gestión del agua, zonas verdes, sistemas de drenaje urbano más eficientes, o soluciones basadas en la naturaleza, favoreciendo las políticas de descarbonización.
Déficits de información	Debido a los elevados daños personales y materiales producidos durante las grandes inundaciones ocurridas en España a lo largo de la historia, los organismos competentes han hecho un gran esfuerzo en poner a disposición de la sociedad información extensa sobre los peligros climáticos, exposición, vulnerabilidades e impactos del riesgo de inundación. Además, aunque con una elevada incertidumbre asociada a la gran escala de los modelos utilizados, existe información sobre la evolución del riesgo a corto, medio y largo plazo. Aun así, los resultados de las proyecciones deben ser incluidas en los modelos, ya que la variabilidad en los extremos de caudal es especialmente relevante en la gestión de inundaciones, principalmente en cuencas pequeñas altamente gestionadas o modificadas.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.3. RC2.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes

El tercer riesgo clave identificado es el **riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos en cantidad y calidad suficientes**.

Este riesgo aparece por la combinación de peligros climáticos – reducción de la precipitación, cambios en sus patrones de distribución y el aumento de la demanda evaporativa a consecuencia del aumento de la temperatura – con factores de riesgo subyacentes derivados de la gestión del recurso agua –demanda de agua creciente, sobreexplotación de acuíferos, planificación inadecuada o, simplemente, aparición de una situación de sequía inesperada que modifique la planificación estimada. Ante los efectos del cambio climático, se prevé una disminución en la cantidad de recursos hídricos disponibles, así como una pérdida de calidad del recurso debido a diversos factores (contaminación puntual y difusa, intrusión salina, anoxia en embalses, degradación de los ecosistemas). Ambos aspectos, en su conjunto, merman la disponibilidad de recursos superficiales y subterráneos y con ello la capacidad del sistema para satisfacer las demandas.

Este riesgo no debe confundirse con el RC1, en el que se analizaban sequías extremas de larga duración con impactos multisectoriales. En el caso del RC3, aunque también tiene implicaciones para los distintos usos del agua, no estaría necesariamente ligado a una sequía extrema, pudiendo ocurrir situaciones de escasez por verse comprometida la disponibilidad de recursos hídricos con elevada influencia de los factores de riesgo subyacentes. Otro de los aspectos a destacar es que, en este caso, el riesgo aparece de forma más local en el tiempo y en el espacio, ocurriendo períodos de escasez que comprometen la satisfacción de las demandas en determinadas zonas del territorio. En MITERD (2018) se presentan los índices de explotación por demarcaciones hidrográficas según los datos de los planes del segundo ciclo de planificación hidrológica (2015-2021). Para ello se ha obtenido el índice WEI+[8] mensual, presentando los resultados para los mayores valores (julio y agosto). Según este índice, las demarcaciones los mayores valores de WEI+ se dan en las demarcaciones hidrográficas de Islas Baleares, del Segura y del Júcar, seguidas por la demarcación hidrográfica del Guadalquivir, la parte española de las demarcaciones del Ebro y del Guadiana y el Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña. Estos valores muestran la escasez en estas cuencas donde las demandas se encuentran próximas o incluso por encima de las aportaciones al sistema, quedando poco margen para la gestión.

[8] El índice de explotación WEI+ se calcula como la fracción en la que en el numerador se sitúan los consumos (entendiéndose como extracciones menos retornos), y en el denominador los recursos renovables de agua dulce.

El origen de los recursos hídricos (superficiales, subterráneos, alternativos y trasvases) que abastecen a los distintos usos se distribuye en el territorio de manera heterogénea. Así, las zonas con abundantes precipitaciones, como las cuencas hidrográficas del norte y las áreas montañosas, hacen uso principalmente de aguas superficiales, mientras que las zonas más áridas como las islas Canarias, el sureste de España y las cuencas del Ebro, Júcar, Duero, Segura, son más dependientes de aguas subterráneas y trasvases, llegando el porcentaje subterráneo en algunas demarcaciones, como en la del Júcar, al 50 % (MITECO, 2023). Por otro lado, desde el punto de vista del abastecimiento urbano en pequeñas y medianas poblaciones de menos de 5000 habitantes, que suponen el 91,1 % de las zonas de abastecimiento a población censadas, el 85,4 % de las fuentes de suministros son de origen subterráneo (Ministerio de Sanidad, 2023).

La concentración de la población y de la actividad industrial alrededor de grandes ciudades, como Barcelona o Madrid, y en los grandes corredores industriales del Valle del Ebro, el País Vasco y el Levante (Hispagua, 2021), aumenta la presión sobre los recursos para el abastecimiento a estos sectores. En cuanto al regadío, según las revisiones del III Ciclo de los PHC, se está produciendo y se prevé un mayor incremento de la superficie regada en cuencas como el Duero, el Ebro y el Guadiana (Sánchez *et al.*, 2023), comprometiendo así la satisfacción de la demanda de este uso. La mejora de la eficiencia de los sistemas de regadío, en la mayoría de las cuencas, no ha supuesto una disminución de la demanda, sino un aumento de la superficie regable. La presión sobre el recurso agua ya afecta al buen estado de las masas de agua.

Por todo lo anterior, es necesario buscar políticas de gestión hídrica dirigidas a reducir los índices de explotación, generando mayores márgenes entre las aportaciones y demandas. Asimismo, convendría implementar mecanismos de gestión de los recursos hídricos para anticipar posibles problemas para la satisfacción de las demandas. La **Figura 6** muestra los mapas de seguimiento de sequía y escasez en España en el mes de junio desde el año 2022 al 2025, según datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. El mes de junio es un mes clave para la gestión de recursos ya que en términos generales supone el comienzo del verano, estación con menos lluvia y por tanto más propensa a enfrentar posibles situaciones de sequía, y en la que se están liberando los mayores volúmenes de agua para regadío. Puede verse cómo ambos indicadores se encuentran parcialmente desacoplados, existiendo situaciones de escasez de recursos (**Figura 6**, áreas color naranjas y rojo, columna de la derecha) sin la existencia de una sequía declarada (**Figura 6**, áreas color salmón, columna de la izquierda). Este desacople parcial nos indica que, aun cuando no existe déficit de precipitaciones, existen problemas de satisfacción de demandas, y, por tanto, hay un problema de gestión. Aun así, existen también muchas zonas donde sequía y escasez van de la mano, y donde, por lo tanto, no se puede descartar que verdaderamente esa escasez esté causada por una sequía.

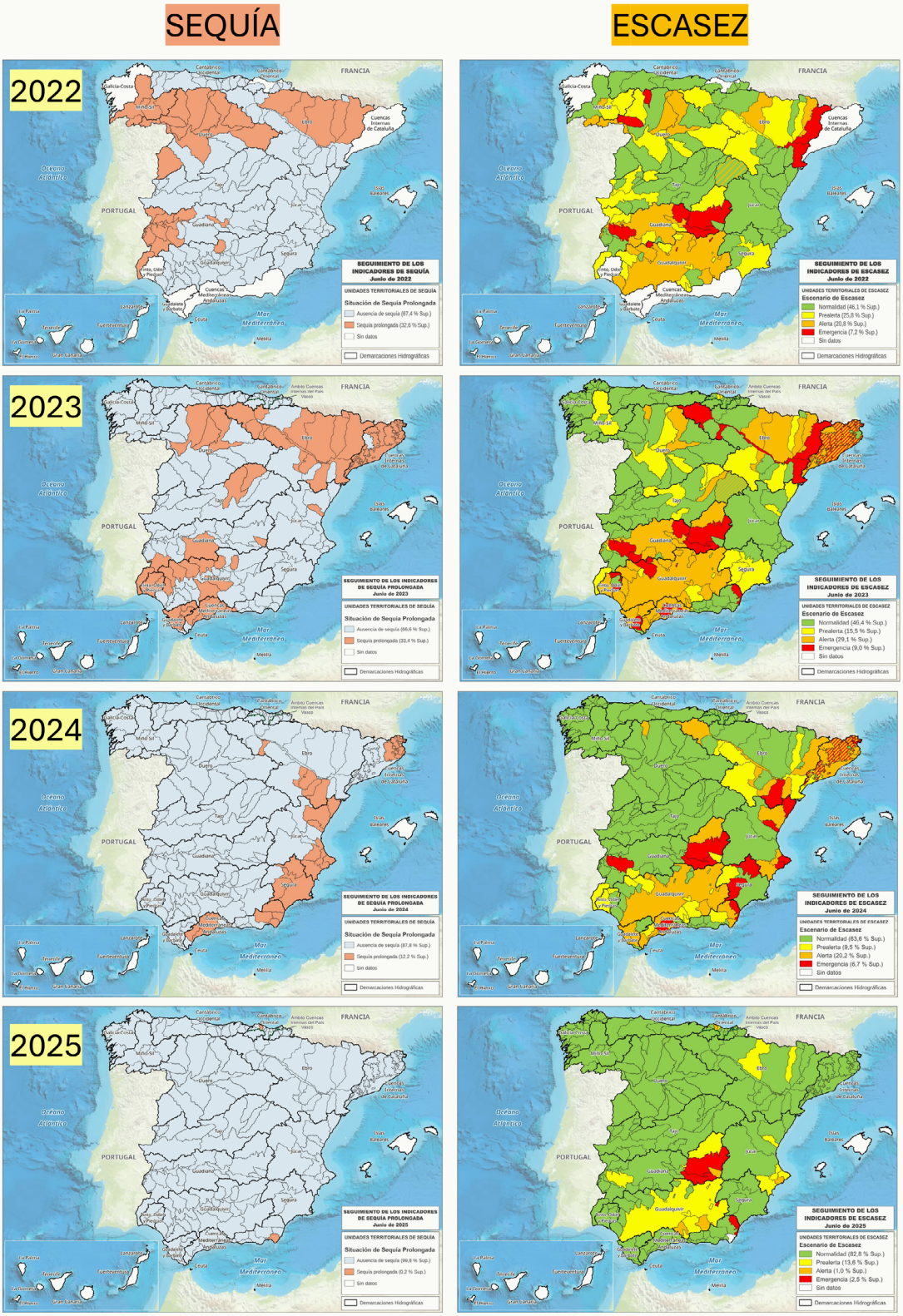


Figura 6. Mapas de seguimiento de los indicadores de sequía prolongada (columna de la izquierda) **y escasez** (columna de la derecha) en el mes de junio para los años 2022, 2023, 2024 y 2025, según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (Fuente: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/informes-mapas-seguimiento.html).

La **Figura 7** muestra la cadena de impacto del riesgo clave, incorporando los componentes esenciales del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de la acción combinada de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco, donde confluyen los impactos físicos que resultan de los peligros, los elementos expuestos y los atributos que determinan su nivel de vulnerabilidad. A partir de este nodo central se despliegan las consecuencias del riesgo en forma de impactos directos, así como de riesgos en cascada, tanto propios del sector como derivados de su interrelación con otros sectores.

A partir de la clasificación climática propuesta por el AR6 WGI del IPCC (Ranasinghe *et al.*, 2021) y de la literatura analizada asociada a este riesgo (Sanz y Galán, 2020; Vicente-Serrano *et al.*, 2014; Vila-Traver *et al.*, 2021), se han identificado los principales **peligros climáticos** asociados al RC3. Al ser un riesgo relacionado con la escasez del recurso, los peligros climáticos serán los mismos del RC1. Por un lado, la *reducción de la precipitación anual y* los *cambios en los patrones de distribución de la precipitación* (de Luis *et al.*, 2010; Miró *et al.*, 2018) tienen efecto en la reducción del caudal superficial y en la recarga a los acuíferos (Cuthbert *et al.*, 2019; He *et al.*, 2021b; Rouhani *et al.*, 2025), que en el territorio peninsular ha descendido en un 11 %, llegando en algunas zonas al 20 % (Tristán, 2024). En el caso del cambio en los patrones de distribución de la precipitación en forma de nieve, puede producir una reducción de los aportes a las reservas hídricas asociadas a la fusión. Por otro lado, el *incremento de la temperatura (aire, suelo, vegetación y agua),* puede producir un aumento de la demanda evaporativa de la atmósfera (CEDEX, 2017; Valdés-Abellán *et al.*, 2020). Además, el aumento de la temperatura favorece la proliferación de patógenos en las aguas, floraciones de cianobacterias tóxicas, o productores de sustancias causantes de olor como geosmina o metil-isoborneol, que son una creciente preocupación en las plantas de tratamiento de agua. Por otro lado, estos problemas de calidad de agua pueden verse afectados por otros peligros climáticos como son las lluvias torrenciales, que afectan de forma indirecta al riego al aumentar la carga de nutrientes y sedimentos en lagos y embalses, y por lo tanto creando condiciones óptimas para el crecimiento de estos microorganismos. La existencia de estos peligros climáticos, unida a las vulnerabilidades asociadas a este riesgo descritas más adelante, genera escasez estructural de agua, y, a su vez, riesgo para el abastecimiento a los diferentes usos.

En este riesgo se han identificado una serie de **elementos expuestos.** Ante una situación de escasez de agua la *población* puede verse afectada por restricciones en el suministro. Se identifican también como elementos expuestos los *ecosistemas naturales*, tanto fluviales y ribereños aguas abajo de las presas, como los humedales. En este sentido, según lo establecido en la Ley de Aguas (MIMAM, 2001) y el Reglamento de Planificación Hidrológica (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2008), los caudales ecológicos no se consideran un uso como tal, sino una restricción al uso, por lo que deben liberarse sin tener en cuenta la cantidad de agua disponible para la satisfacción del total de las demandas, a excepción del uso de abastecimiento

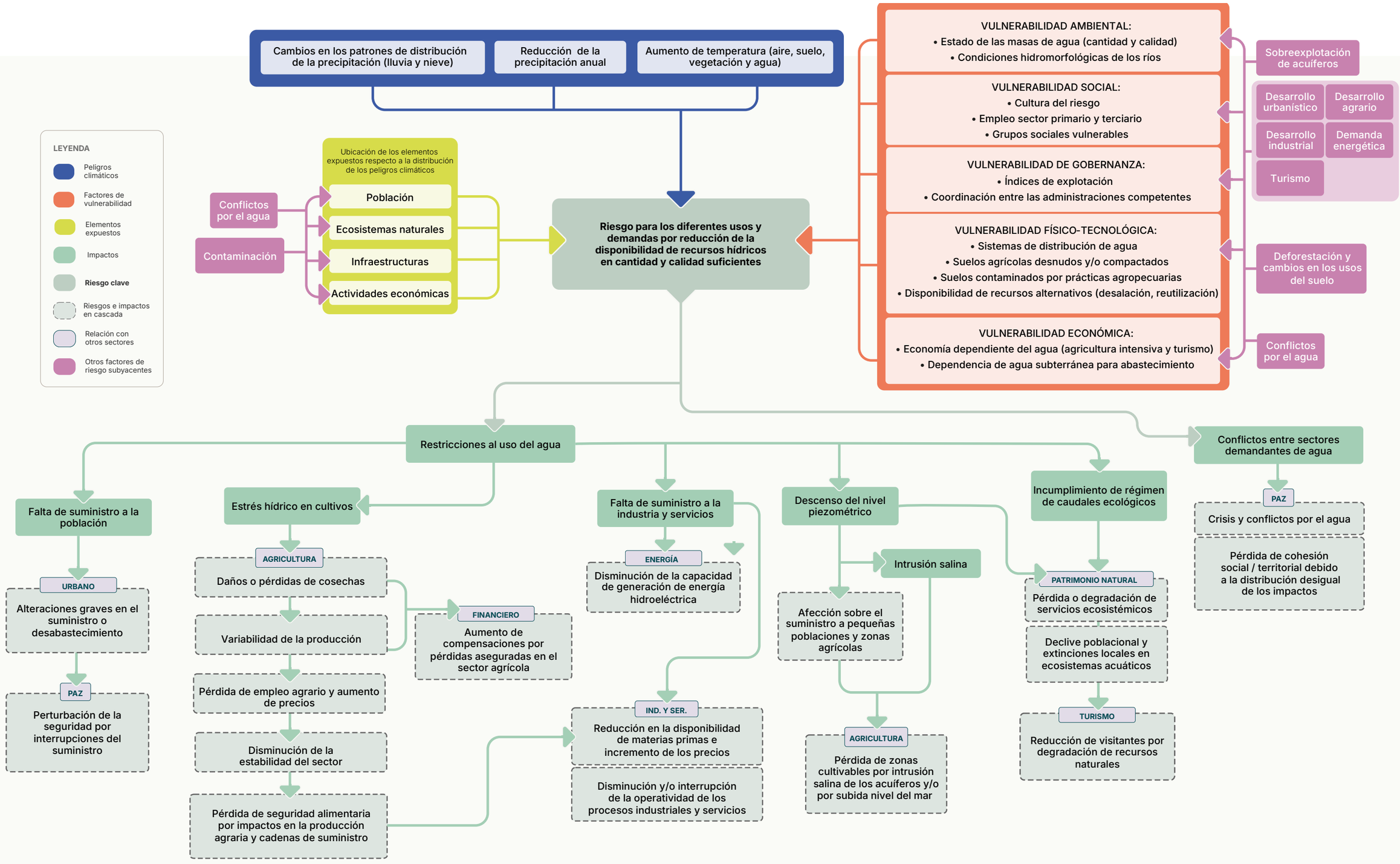


Figura 7. Cadena de impacto. RC2.3. Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes.

a la población, que según la prioridad de usos establecida en los planes de cuenca, se considera prioritario al resto de usos (Schmidt *et al.*, 2022). Aun así, en situaciones de sequía, los PES establecen una reducción o cese temporal en el régimen de caudales ecológicos a liberar desde la presa, al prevalecer el uso para abastecimiento urbano como uso esencial, por lo que, en esos casos, se verán expuestos los diferentes ecosistemas situados aguas abajo (Dobel *et al.*, 2020a; WWF, 2023). Por otro lado, ante la reducción en la recarga de acuíferos, bien por la disminución de caudales, bien por alteraciones en la dinámica de la nieve, se puede producir el descenso del nivel piezométrico, que se verá agravado en caso de sobreexplotación de acuíferos, pudiendo afectar al mantenimiento de ecosistemas dependientes (Kahil *et al.*, 2016). La disminución en el régimen de caudal afecta también a las *infraestructuras* de generación de energía hidroeléctrica, cuyas turbinas necesitan de un caudal mínimo para funcionar y cuya producción dependerá de manera directa del caudal circulante, así como a las centrales térmicas, donde a la disponibilidad de agua se suma la afección en los sistemas de refrigeración por el aumento de la temperatura, lo que podría derivar en cortes de suministro. Esto último se aborda desde una perspectiva más transversal en el capítulo sectorial de *Energía*, donde se destaca como clave el *riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos (RC9.1)*. En él se ofrece una descripción detallada de los impactos directos y en cascada que una interrupción del suministro energético puede desencadenar. Por otro lado, en el capítulo de *Energía* también se presenta, en este caso como relevante, el *riesgo para la capacidad de generación eléctrica en centrales térmicas por reducción de la eficiencia de los sistemas de refrigeración debido al descenso de recursos hídricos continentales, al aumento de la temperatura del agua y/o al aumento de la temperatura atmosférica (RR9.8).* Por último, aquellas *actividades económicas* dependientes del uso del agua, como pueden ser la agricultura, el turismo, o la industria también resultan expuestas al disminuir la cantidad y calidad de los recursos disponibles. En este sentido, existen parámetros de calidad de agua como la elevada salinidad, que limita el uso del agua al causar toxicidad en las plantas, salinización del suelo y corrosión en equipos (Musie y Gonfa, 2023), o la elevada turbidez, que puede obstruir filtros y equipos, impidiendo los procesos o disminuyendo su eficiencia. De la misma forma, en España el Real Decreto 3/2023, establece valores máximos permitidos para sustancias químicas y microbiológicas en el agua de consumo humano. Por ello, las masas de agua, superficiales y subterráneas, destinadas al tratamiento de agua para consumo, y que, a partir de uno o varios puntos de captación, proporcionen un promedio de más de 100 metros cúbicos diarios, se someten a controles adicionales de los parámetros, sustancias o contaminantes que puedan constituir un riesgo para la salud humana (Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, 2023).

Entre las **vulnerabilidades** asociadas a este riesgo, destacan algunas **vulnerabilidades ambientales**, como puede ser el *estado de las masas de agua* en términos de calidad y cantidad del recurso (EEA,

2021), incluyendo tanto masas superficiales como subterráneas, y el deterioro de las *condiciones hidromorfológicas de los ríos*. Ambos factores comprometen el uso del agua para la satisfacción de demandas. Períodos de sequía favorecen el aumento de la concentración de contaminantes, como productos fitosanitarios, fósforo o nitrógeno, en las partículas del suelo y disminuyen su dilución en los escasos volúmenes de agua de escorrentía superficial que se generan (Sanz y Galán, 2020), y que posteriormente llegarán a cauces, acuíferos y embalses. Así, en condiciones de aumento de la temperatura en las masas de agua, se crean capas de agua más cálidas que se establecen arriba, dando lugar a la estratificación de la columna de agua. Cuando existe además elevada presencia de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, ocurren procesos de eutrofización en condiciones anóxicas que favorecen el crecimiento de algas y plantas acuáticas, así como la proliferación potencial de cianobacterias (Camargo et al., 2025; Lin et al., 2023; Pérez-Martín et al., 2023). Por otro lado, la reducción del régimen de caudal causado por la escasez puede llevar a cambios en las condiciones morfológicas de las masas de agua, incluyendo la geometría del cauce (anchura, profundidad), la variación longitudinal y transversal, y la estructura y composición del lecho y las orillas (Duffin *et al*., 2023).

La modernización de regadíos que pretendía un ahorro de consumo de agua se ha traducido también en la ampliación de la superficie regable (Sánchez *et al*., 2023), dificultando la materialización de dicho ahorro. Esta expansión de la superficie de regadío ha tenido importantes consecuencias en el uso del agua, en los indicadores de escasez y en los desafíos actuales durante los años secos (Serrano *et al*., 2024). Esto es especialmente relevante en las comunidades autónomas con mayor tasa de regadío sobre superficie geográfica, como Murcia, Andalucía y la Comunidad Valenciana, con un 15,72 %, 12,09 % y 12,07 % respectivamente (MAPA, 2023). Esta escasez hídrica y dificultad de ahorro de agua ante la expansión del regadío demuestran la necesidad de crear una *cultura del riesgo*, **vulnerabilidad social** que se extiende al resto de sectores consumidores del recurso.

Son destacables ciertas **vulnerabilidades de gobernanza.** Por un lado, los elevados *índices de explotación,* ya que la capacidad de regulación que ofrece el gran número de presas en España hace que sea posible la satisfacción de la demanda en periodos de ausencia de precipitaciones, demanda que en determinadas regiones y periodos supera a las aportaciones a los embalses, además de crear dependencia de los usos de recursos regulados (López-Moreno *et al*., 2014). A esto se une la no alineación *entre las administraciones competentes* que, por ejemplo, deben implementar programas regionales para ayudar a las áreas ambientalmente sensibles (Paniagua, 2001) y favorecer la coordinación de políticas como la Política Agraria Común o el Plan Nacional de Regadíos. Además, la administración también debe incentivar diversos aspectos que ayuden a paliar el escepticismo de los agricultores al uso de nuevas tecnologías o métodos de riego si no perciben beneficios económicos rápidos y claros, y la reticencia de las autoridades agrícolas ante la dificultad para implementar políticas efectivas que incluyan cambios en la gestión.

Por otro lado, existen **vulnerabilidades de carácter físico-tecnológico**, como pueden ser las deficiencias y pérdidas que se producen en los *sistemas de distribución de agua* (Ministerio de Sanidad, 2023; Zarza, 2024), o la falta de *disponibilidad de recursos alternativos*, como es el caso de la desalación y la reutilización, que podrían ayudar a paliar situaciones de escasez. La existencia de una gran superficie de *suelos agrícolas desnudos y/o compactados* que generan problemas de erosión y pérdida de suelo – fenómenos acentuados por los efectos de las sequías (Lin *et al.,* 2023) y la *contaminación derivada de prácticas agropecuarias* – provoca que, con la llegada de lluvias, la escorrentía arrastre importantes cantidades de sedimentos y fitosanitarios, ocasionando problemas de turbidez y contaminación en cauces y embalses (Contreras *et al*., 2023).

Por último, existen ciertas **vulnerabilidades económicas**, como una *economía dependiente del uso del agua*, ligada al desarrollo de la agricultura intensiva y al turismo, y en las pequeñas y medianas poblaciones una *dependencia de agua subterránea,* que en situaciones de sequía ve afectada su recarga (Tristán, 2024) generando con frecuencia situaciones de sobreexplotación y contaminación de acuíferos y comprometiendo el abastecimiento a estas zonas.

Los factores de riesgo subyacentes a este riesgo clave incluyen el desarrollo urbano, agrícola e industrial, el turismo y la deforestación y cambios en los usos del suelo que, al tiempo que aumentan la presión sobre recurso, generan contaminación tanto de carácter difuso - que incluye nutrientes, pesticidas y sedimentos entre otros (Contreras et al., 2023) – como puntual - que incluye detergentes, metales pesados (mercurio, plomo, cadmio), compuestos orgánicos (pesticidas, compuestos aromáticos, disolventes, plásticos), nutrientes (nitratos, fosfatos) y sustancias tóxicas (cianuros, amoniaco). En este contexto, cabe destacar que existe en España un número significativo de poblaciones de menos de 2.000 he9 (habitantes equivalentes) que no depuran adecuadamente (MITERD, 2022). La sobreexplotación de acuíferos supone también uno de estos factores de riesgo, la extracción intensiva de agua subterránea en relación con la recarga del acuífero principalmente ligada a la agricultura de regadío, en determinadas zonas como Doñana, condiciona este riesgo (Green *et al.,* 2024; Schmidt *et al.,* 2022). Dicha sobreexplotación, en el caso de acuíferos costeros, se encuentra directamente influenciada por la subida del nivel del mar, que rompe el equilibrio natural entre el agua subterránea y el agua marina, lo que se traduce en fenómenos de intrusión salina, que han recibido especial atención en los últimos años (Andreu y Fernández, 2019; Ferguson y Gleeson, 2012). Todo ello genera *conflictos por el agua*, que en determinadas zonas condiciona la exposición y vulnerabilidades que definen este riesgo clave.

[9] Se utiliza como unidad de medida para establecer la carga contaminante del agua residual bruta (antes de la depuración de la misma) para vertidos de naturaleza urbana (o industriales cuyo vertido sea de naturaleza orgánica biodegradable). Queda definida en la normativa como "carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), de 60 gramos de oxígeno por día", y sería el equivalente a la carga generada al día por una persona en una vivienda normal.

La acción combinada de los peligros, la exposición y las vulnerabilidades provoca **impactos** significativos. Se han identificado las *restricciones al uso del agua* y los *conflictos entre sectores demandantes de agua*. El primero ocurre cuando la escasez de agua da lugar a restricciones en una o varias actividades demandantes. Ante estas situaciones, los PHC establecen el abastecimiento urbano como uso esencial y prioritario, seguido del agrícola, sin olvidar la restricción al uso del caudal ecológico. Así, la *falta de suministro a la población* podría ocurrir de manera excepcional, como la situación de escasez de agua de 1991-1995, donde más de 12 millones de personas se vieron afectadas (Llamas, 1995). Más comunes son las restricciones al uso del agua en el sector agrícola generando *estrés hídrico en cultivos* y en el de industria, servicios, y energía, ocasionando la *falta de suministro* para el desarrollo de su actividad. Bajo condiciones de escasez de agua, cuando las extracciones de agua subterránea superan la capacidad de recuperación del acuífero se produce la sobreexplotación (Schmidt et al., 2022), pudiendo llevar al *descenso del nivel piezométrico*, y la *intrusión salina* en acuíferos costeros. La escasez de agua también podría derivar en el *no cumplimiento del régimen de caudales ecológicos,* pudiendo afectar a los ecosistemas aguas abajo de embalses y al patrimonio natural. El orden de prioridad de usos puede suponer una fuente de *conflictos entre los sectores demandantes de agua* (Estrela y Vargas, 2012); por ejemplo, los gobiernos regionales se enfrentan al reto de cumplir con la seguridad hídrica para la actividad turística, garantizando la disponibilidad de agua para residentes sin restricciones en el suministro (Florido-Benitez, 2024). De la misma forma, pueden surgir conflictos territoriales entre cuencas con trasvases, a la hora de decidir cómo y cuánta agua se trasvasa de un cauce a otro.

Los impactos señalados pueden llevar asociados una serie de **impactos y riesgos en cascada** relacionados con el sector agua y recursos hídricos o con otros sectores. Las restricciones al uso del agua podrían afectar a los *sectores medio urbano y paz y cohesión social* al producir alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento urbano y generar crisis y conflictos en el ámbito nacional por impactos sobre los recursos naturales y por competencia por ellos. También impactan en el *sector agricultura y ganadería*, ocasionando daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, mayor variabilidad en la producción de la agricultura, menor estabilidad del sector y pérdida de seguridad alimentaria por afectar a las cadenas de suministro a nivel nacional e internacional. Estos riesgos pueden conllevar la pérdida de empleo agrario y aumento de precios de productos agrícolas (Vargas-Melin y Pindado, 2014), afectando también al *sector financiero*, por el riesgo de aumento de compensación por pérdidas aseguradas principalmente en el sector agrícola. De la misma forma, el *sector industria y servicios* puede verse afectado por riesgo de disminución y/o operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico, así como por riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando estas dependen de las condiciones climáticas (Allen y Otero, 2023). La reducción de la disponibilidad de recursos hídricos también puede generar riesgos en cascada en el *sector energía* debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica (Solaun y Cerdá, 2019), o en el *sector urbano* en el caso de pequeñas y medianas poblaciones abastecidas por acuíferos cuando existe sobreexplotación, contaminación o intrusión salina en estas

masas (Pulido-Velázquez, 2018). Asimismo, la alteración del régimen de caudales e incumplimiento del régimen de caudales ecológicos en condiciones de escasez de agua podría conducir a la pérdida de hábitats, declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos, y degradación de servicios ecosistémicos por alteración de la funcionalidad de los ecosistemas (Ibáñez y Caiola, 2023), afectando así al *sector patrimonio natural* y, en consecuencia, al *sector turismo* basado en la naturaleza (Florido-Benítez, 2024).

Ficha 3. Análisis del riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Catastrófica	Catastrófica
	El cálculo agregado de pérdidas en agricultura y turismo por la escasez de agua en 2020 se sitúa por debajo del 0,1 % del PIB, siendo algo mayor en 2023, aunque aún por debajo del 0,1 % del PIB (Aon, 2024).	Para el corto plazo las previsiones indican que las sequías se intensificarán, y, por lo tanto, su efecto sobre la escasez del recurso para satisfacer las demandas. No se prevé que el impacto económico sobrepase el límite hacia una situación catastrófica, aunque se estima en centenas de miles de personas afectadas en el sector agrícola y en el turismo, y que el impacto económico podría duplicarse (iAgua, 2025).	Algunos análisis estiman que para 2050, el impacto de la escasez afectará en España a dos tercios de la población (AMCESFI, 2023), con un impacto económico que puede alcanzar el 3 % del PIB (PwC, 2025).	Como se ha indicado en el RC1, la frecuencia, duración e intensidad de las sequías se prevé que aumentará hacía finales de siglo. En este escenario, se estima que una sequía grave podría restar 1,3 % en el PIB, aumentando el nivel de severidad, según el Banco de España (Zarza, 2024).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Alto ◆◆◆ · Alta · Alto	Medio ◆◆ · Media · Medio	Medio ◆◆ · Media · Medio	Alto ◆◆◆ · Media · Alto
	Los datos han sido obtenidos de publicaciones académicas revisadas por pares, de organismos oficiales, y de estudios de WWF.	El análisis se basa en escenarios de escasez, a nivel europeo, con información no específica para España.	Las fuentes consultadas han sido publicaciones basadas en estudios en el sur de Europa, no siendo específicas para España, y publicaciones de WWF que no se han publicado en revistas con revisión por pares.	Las fuentes analizadas son híbridas, encontrándose en la literatura académica y en publicaciones de organismos oficiales, siendo el nivel de consenso alto.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Los principales peligros son la reducción de la precipitación anual y los cambios en los patrones de distribución de la precipitación, junto con el aumento de la temperatura (aire, suelo, vegetación y agua).	Los siguientes elementos han sido identificados como expuestos ante este riesgo: • Población. • Ecosistemas naturales. • Infraestructuras. • Actividades económicas. La distribución geográfica del riesgo es nacional, siendo más acentuada en el levante y sur peninsular.	Vulnerabilidad ambiental: • Estado de las masas de agua (cantidad y calidad). • Condiciones hidromorfológicas de los ríos. Vulnerabilidad social: • Cultura del riesgo. Vulnerabilidad de gobernanza: • Índices de explotación. • Coordinación entre las administraciones competentes.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo			Vulnerabilidad física-tecnológica: • Sistemas de distribución de agua. • Suelos agrícolas desnudos y/o compactados. • Suelos contaminados por prácticas agropecuarias. • Disponibilidad de recursos alternativos (desalación, reutilización). Vulnerabilidad económica: • Economía dependiente del agua (agricultura intensiva y turismo). • Dependencia de agua subterránea para abastecimiento.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	En la gestión de recursos hídricos en cuencas transfronterizas es necesario la creación de acuerdos y convenios internacionales entre los países implicados. En el caso de España, existen cuatro cuencas cuyo territorio es compartido entre España y Portugal: Guadiana, Tajo, Duero y Miño-Sil. En este caso existe el Convenio de la Albufeira de 1998. Los efectos de la escasez más allá de las fronteras nacionales pueden derivar en impactos transmitidos a través de vías diversas, como el comercio, los flujos financieros, las migraciones o los cambios geopolíticos. Como ejemplo, se pude producir pérdida de producción de materias o energía importada de otros países, o interrupción en la cadena de suministro, con consecuencias en el comercio y en las cadenas de producción. También se pueden producir migraciones y desplazamientos hacía España por degradación de los medios de vida (pérdida de cultivos, escasez de alimentos, pérdida de empleo), o por cambios geopolíticos por competencia por los recursos en sus países de origen.
Territoriales	La mayor incidencia de este riesgo se da en zonas con déficit hídrico y peor calidad del agua (Adroches, 2024), afectando de manera específica tanto al consumo urbano, como al regadío, a las actividades económicas dependientes del uso del agua y a los servicios ecosistémicos (Dobel et al., 2020a; Ingrao et al., 2023; Madruga, 2021; Orimoloye, 2022; Pérez-Pérez y Barreiro-Hurlé, 2009). El descenso en la recarga de acuíferos es un factor que afecta a todo el territorio nacional, estimándose en un descenso de entre el 10 % y el 20 % en más del 50 % del territorio nacional (Pulido-Velázquez et al. 2018). Las cuencas con mayores índices de explotación y que, por tanto, se ven afectadas más frecuentemente por la escasez son la demarcación hidrográfica de las Islas Baleares, la del Segura, la del Júcar, seguidas por el Guadalquivir, el Ebro y el Guadiana, según los datos del índice de explotación WEI+ (MITERD, 2018).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Sociales	La reducción en la disponibilidad de recursos afecta especialmente a los sectores donde se establecen medidas de gestión que implican restricciones en la satisfacción de la demanda: urbano, agricultura y ganadería, energía, industria y servicios, y turismo. En este sentido, las comunidades cuya economía depende del empleo agrícola y de servicios pueden verse más afectadas ante la posible pérdida de empleo. Además, los grupos sociales más vulnerables en situación de pobreza, bajos ingresos o enfermos con problemas de movilidad, acusan más la falta de acceso a servicios básicos esenciales como el agua o la energía, además de la dificultad de obtener productos básicos ante la posible subida de precios en situación de escasez. Los servicios ecosistémicos pueden verse afectados si se produce incumplimiento o reducción en el régimen de caudales ecológicos, afectando al bienestar social de la población.
Maladaptación	En España se han llevado a cabo varios planes de modernización del regadío desde el año 2002, con el objetivo de la mejora de la eficiencia del riego. Sin embargo, estas medidas no han supuesto una disminución de las demandas (consumos netos), sino que se ha producido un incremento de la superficie regable (Polo et al., 2014), reduciendo el margen de mejora y poniendo al límite el sistema de gestión. El uso de aguas subterráneas para el uso agrícola y abastecimiento a pequeñas poblaciones es una fuente de recursos fundamental en determinadas zonas, y con frecuencia es utilizada por los agricultores en situaciones de escasez. Sin embargo, la sobreexplotación de acuíferos por encima de su tasa de recarga (Pulido-Velázquez et al. 2018) puede llevar a descenso del nivel piezométrico, colapsos y subsidencias en el terreno superficial sobre la zona acuífera (Sanz y Galán, 2020), y a contaminación por intrusión salina en los acuíferos costeros.
Género	Al igual que en el caso de sequías, las mujeres se sienten más preocupadas y vulnerables ante los efectos del riesgo de reducción en la disponibilidad de recursos hídricos sobre ellas y sus hijos. Esto es debido a que las cargas de cuidad a menudo recaen desproporcionadamente sobre las mujeres (Instituto de las Mujeres, 2021).
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	La escasez de agua se gestiona a través de umbrales en los Planes Especiales de Sequía que marcan diferentes fases dependiendo de determinados porcentajes calculados sobre el volumen conjunto de recursos hídricos en determinadas unidades territoriales de escasez (UTE). Así se definen las situaciones de: • Normalidad (ausencia de escasez) (>50 % recursos hídricos en la UTE). • Prealerta (escasez moderada) (30 % - 50 % recursos hídricos en la UTE). • Alerta (escasez severa) (15 % - 30 % recursos hídricos en la UTE). • Emergencia (escasez grave) (<15 % recursos hídricos en la UTE).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	En España se han implementado planes de mejora en la eficiencia del regadío. Sin embargo, estas medidas no han supuesto una disminución de la demanda, sino un aumento de la superficie regada (Polo et al., 2014). Ante las previsiones de disminución de la precipitación anual y aumento de los episodios de sequía, el aumento de la superficie demandante de agua para regadío no se ajusta a los escenarios futuros de descenso en la disponibilidad del recurso, acentuando los episodios de escasez futuros. El uso de recursos alternativos (desalación y reutilización), aunque suponen un aumento en la disponibilidad del recurso, en ocasiones implica costes más elevados y encuentra dificultades en la aceptación social de esta agua para satisfacer la demanda. El elevado número de presas en España, aunque mejora la resiliencia ante situaciones de escasez, crea una falsa sensación de seguridad en la disponibilidad del recurso que en ocasiones lleva a un aumento de la demanda. Además, en situaciones de escasez se puede producir el secado total de un embalse, que implica la concentración de sustancias y contaminantes en el material del vaso del embalse, produciéndose contaminación de las aguas en el nuevo llenado, impidiendo su utilización para el abastecimiento, o siendo necesario cambiar el sistema de potabilización para adaptarlo. Las situaciones de escasez muchas veces desembocan en sobreexplotación de acuíferos con proliferación de pozos ilegales que suponen un riesgo en sí mismo, por la bajada del nivel freático, la concentración de contaminantes y la dificultad de recuperación del acuífero. En el caso de los ecosistemas naturales aguas abajo de las presas, la reducción o incluso el corte en el régimen de caudales ecológicos puede deteriorar el ecosistema, pudiendo provocar la desaparición de la flora y la fauna (Estrela-Segrelles et al., 2023; Liu et al., 2022).
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	España ha incorporado las sequías como elementos estructurales en su planificación y gestión del agua a través de los Planes Especiales de Sequía, que en coordinación con los PHC pretenden evitar las situaciones de escasez de disponibilidad del recurso. Entre los planes y medidas relacionadas con este riesgo, cabe destacar, entre otros: • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), instrumento de planificación clave para evitar o reducir los daños presentes y futuro del cambio climático y construir una economía y sociedad más resilientes. • Directiva Marco del Agua (DMA) y normativa derivada. Surge por la necesidad de proteger el agua, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, garantizando la sostenibilidad. Derivadas de esta directiva en la legislación española el Texto Refundido de la Ley de Aguas, y los Reales Decretos RD 817/2015 para el seguimiento del estado de las aguas y el RD 1514/2009 de protección de las aguas subterráneas, entre otros. • Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, cuyo objetivo es impulsar la recuperación de las masas de agua tipo río en las demarcaciones hidrográficas para alcanzar el buen estado ecológico. • Plan Estratégico de Humedales, tiene como objetivo evitar, detener y revertir la pérdida y degradación de humedales en España.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• PERTE de Digitalización del Ciclo del Agua, mediante el que se impulsa el uso de las nuevas tecnologías de la información en el ciclo integral del agua, con el fin de mejorar su gestión, aumentar su eficiencia, reducir las pérdidas en las redes de suministro y avanzar en el cumplimiento de los objetivos ambientales. • Código Técnico de la Edificación y disposiciones relativas al ahorro del agua. • Real Decreto 3/2023 sobre la calidad de agua de consumo humano, establece los criterios para la calidad del agua de consumo humano. • Real Decreto 1085/2024 de reutilización del agua, que establece condiciones básicas para el uso seguro de agua regenerada. • Reglamento (UE) 2020/741 sobre la reutilización del agua para riego agrícola, establece los requisitos mínimos para la reutilización segura del agua urbana depurada en usos agrarios. Relativos al control sobre vertidos y sustancias contaminantes, señalar, entre otros: • Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas. • Real Decreto Legislativo 1/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación. Otras medidas: • En agricultura se están adoptando medidas de reducción del estrés hídrico, diferentes variedades de cultivos más resistentes, sistemas de riego y técnicas de manejo sostenible del suelo, como técnicas de rotación (Ingrao et al., 2023; Rodríguez, 2023). • En industria, las empresas deben implementar tecnologías eficientes de uso de los recursos hídricos, realizar controles de mantenimiento para prevenir el desperdicio de agua, reutilizar y reciclar el agua en los procesos industriales, entre otros (Kumar y Thakur, 2024; Weerasooriya *et al.*, 2021). • España ha desarrollado una estrategia nacional para recuperar los acuíferos contaminados por nitratos alineada con las políticas de la Unión Europea (Pérez-Martín, 2024), específicamente a través de la planificación hidrológica según la DMA de la UE. Los PHC utilizan modelos para definir el excedente máximo de nitrógeno en cada acuífero contaminado.
Gobernanza de gestión del riesgo	La competencia en la gestión de este riesgo es compleja. Desde el punto de vista de la cantidad de agua, es el Ministerio para la Transición Energética y Reto Demográfico quien publica de manera mensual los informes y mapas de seguimiento de escasez. Estos informes son suministrados por cada uno de los organismos de cuenca en base a los PHC y la información disponible tanto de volúmenes de agua como de demandas a satisfacer. Desde el punto de vista de la calidad del agua, es de nuevo el Ministerio para la Transición Energética y Reto Demográfico, a través de los programas de seguimiento del estado y calidad de las aguas, el encargado de su vigilancia y control. En el caso de cuencas transfronterizas, los gobiernos de ambos países son responsables de la gestión del riesgo mediante los Convenios correspondientes (Convenio de la Albufeira).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La puesta a punto del nuevo ciclo de planificación hidrológica (2022-2027) permitirá alcanzar los objetivos ambientales para las masas de agua y ecosistemas asociados, así como la atención de las demandas para los diferentes usos, compatibles con el buen estado de las aguas, en un marco de adaptación al cambio climático. Del mismo modo, estas medidas de adaptación incrementarán la seguridad hídrica gracias a la promoción de proyectos que contribuyan al ahorro y menor consumo de agua mediante el uso eficiente y racional de los recursos, la reducción de la demanda y la protección de las masas de agua.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	El impacto del riesgo en la descarbonización es negativo, dada la necesidad de aprovisionamiento de recursos hídricos ante situaciones de escasez mediante agua embotellada o camiones cisterna, que iría en contra de las políticas de descarbonización. En cuanto al impacto de la descarbonización en el riesgo, sería positivo. La transición a energías renovables y la promoción de eficiencia energética supone una reducción de la demanda de agua y por tanto una disminución de la presión sobre los recursos disponibles (Solaun y Cerdá, 2019).
Déficits de información	La gestión de recursos hídricos en situaciones de escasez ha sido ampliamente estudiada, especialmente en zonas mediterráneas del sur de Europa. Sin embargo, existe falta de datos particularizados para España bajo algunos escenarios futuros de cambio.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase capítulo de Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí. Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial *Agua y recursos hídricos* se centra en los tres riesgos clave (RC2.1, RC2.2 y RC2.3) al haber sido identificadas en todos ellos interdependencias significativas con otros riesgos clave de otros sectores. Destaca en este análisis que los tres riesgos clave obtienen un algo grado de entrada, aunque bajo de salida. Esto se debe a la propia naturaleza de los riesgos climáticos asociados a este sector, que, como se ha desarrollado en cada uno de ellos producen impactos y riesgos en cascada en todos los demás sectores. Sin embargo, no es habitual que los riesgos asociados a otros sectores tengan sean la entrada en los propios del sector agua y recursos hídricos.

El *Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración* (RC2.1) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 26 (**Figura 8**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de los sectores Forestal (RC4.4) y Agricultura y Ganadería (RC5.1).

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes al propio sector Agua y recursos hídricos (RC2.3), y de sectores como Patrimonio natural (RC3.1, RC3.2, RC3.3, RC3.4), Forestal (RC4.1, RC4.2, RC4.3, RC4.4, RC4.5), Agricultura y Ganadería (RC5.1, RC5.2, RC5.3), Ciudad (RC7.2, RC7.4), Energía (RC9.1), Industria y servicios (RC11.2, RC11.4), Turismo (RC12.3), Financiero (RC13.1, RC13.2, RC13.3, RC13.4) y Paz, seguridad, y cohesión social (RC14.1, RC14.2, RC14.3).

El *Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales* (RC2.2) tiene grado de entrada 5 y grado de salida 18 (**Figura 9**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de los sectores de Patrimonio natural (RC3.4) y Forestal (RC4.1, RC4.2, RC4.4, RC4.5).

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre diversos sectores como Patrimonio natural (RC3.2, RC3.3, RC3.4), Forestal (RC4.2, RC4.4), Agricultura y Ganadería (RC5.2), Ciudad (RC7.1, RC7.2), Patrimonio Cultural (RC8.2), Transporte (RC10.2, RC10.3, RC10.4), Industria y Servicios (RC11.1), Financiero (RC13.1, RC13.2, RC13.4) y Paz, Seguridad, y Cohesión Social (RC14.1, RC14.2).

El *Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes* (RC2.3) tiene grado de entrada 9 y grado de salida 15 (**Figura 10**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de los sectores, entre ellos el propio sector Agua y Recursos hídricos (RC2.1), y otros sectores como Patrimonio natural (RC3.4), Forestal (RC4.1, RC4.2, RC4.4), Agricultura y Ganadería (RC5.1, RC5.2), Ciudad (RC7.2) y Paz, Seguridad, y Cohesión Social (RC14.3).

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre diversos sectores como Agricultura y Ganadería (RC5.1, RC5.2, RC5.3), Ciudad (RC7.2, RC7.4), Energía (RC9.1), Industria y Servicios (RC11.2, RC11.4), Turismo (RC12.3), Financiero (RC13.1, RC13.3, RC13.4) y Paz, Seguridad, y Cohesión Social (RC14.1, RC14.2, RC14.3).

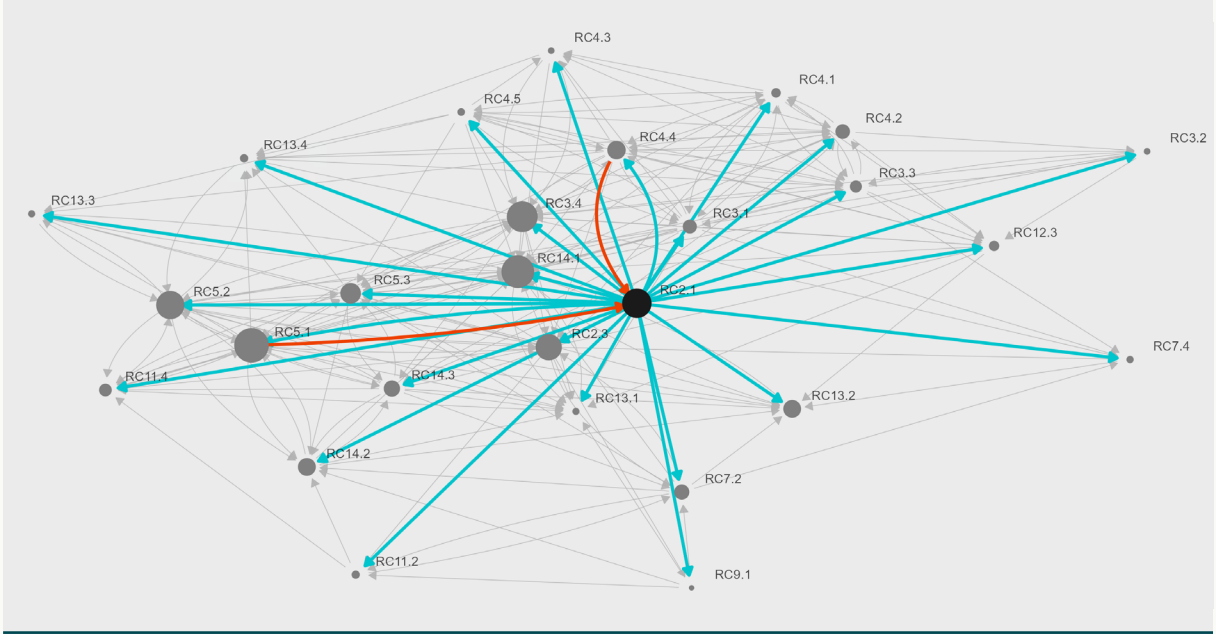


Figura 8. Grafo del Riesgo de daños por sequias extremas de larga duración. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

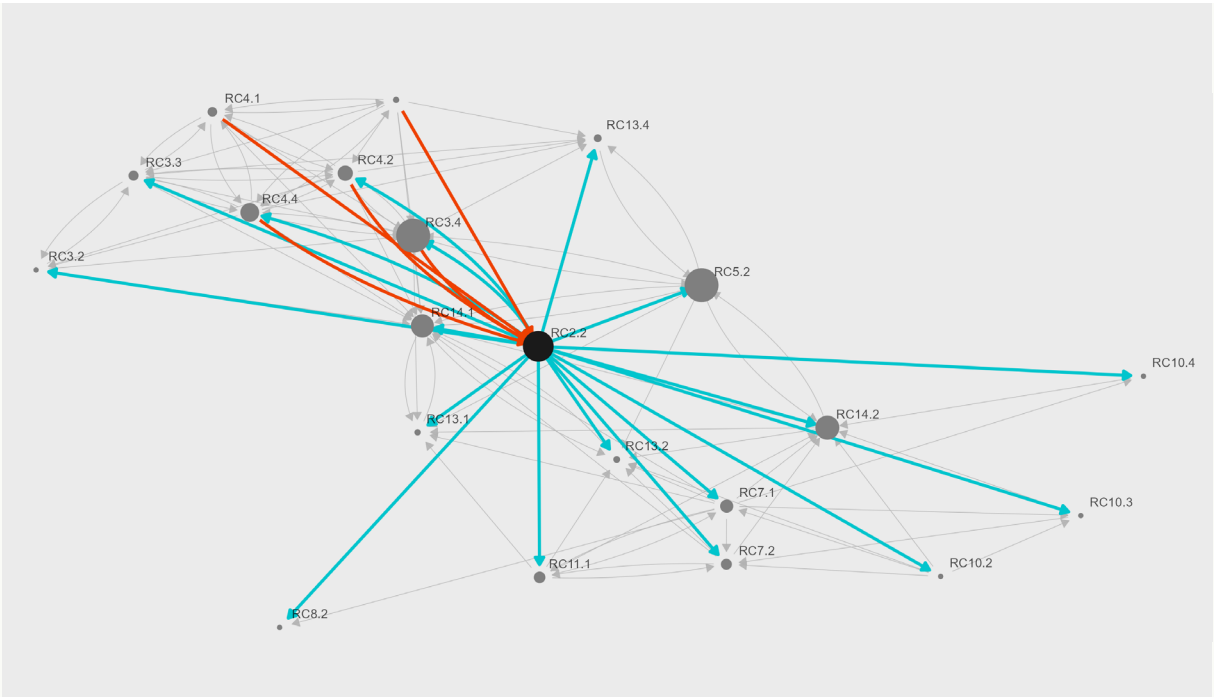


Figura 9. Grafo del Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

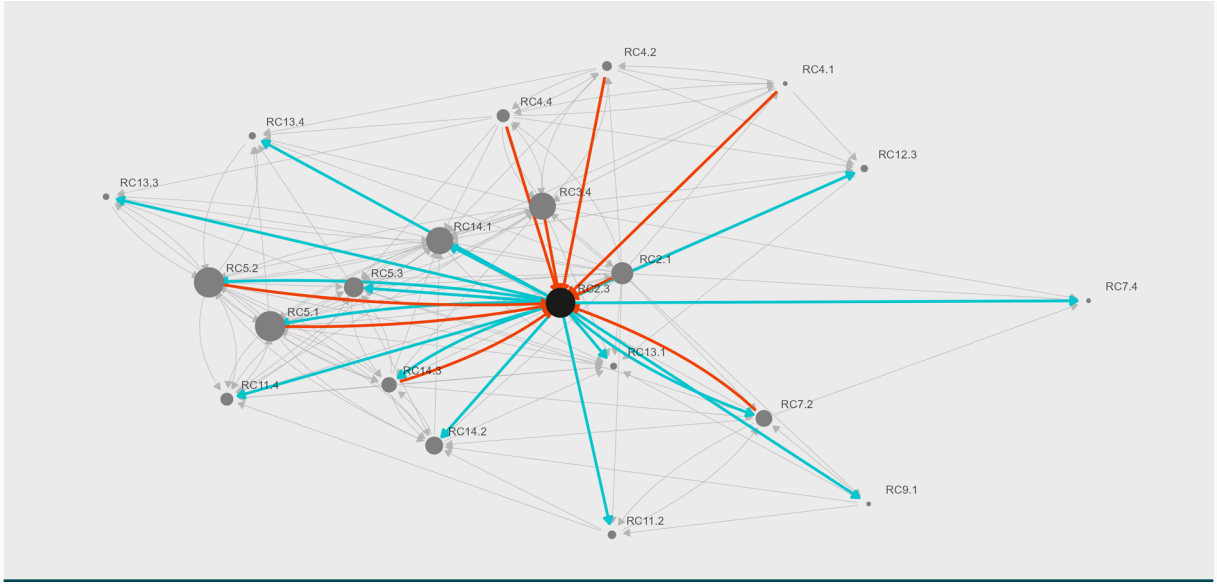


Figura 10. Grafo del Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial de Agua y recursos hídricos.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC2.1 Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración	Bajo ▼	Alto ▲	Alto ▲	Alto ▲
RC2.2 Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales[10]	Bajo ▼	Medio ▬	Alto ▲	Alto ▲
RC2.3 Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes[11]	Bajo ▼	Medio ▬	Medio ▬	Medio ▬

[10] La denominación de este riesgo ha variado desde que se llevó a cabo el análisis de los riesgos complejos, donde este riesgo se denomina de la siguiente manera: RC2.2 *Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival.*

[11] La denominación de este riesgo ha variado desde que se llevó a cabo el análisis de los riesgos complejos, donde este riesgo se denomina de la siguiente manera: RC2.3 *Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes.*

6. Caso de estudio

El caso de estudio LIFE Ebro Resilience P1 ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del sector agua y recursos hídricos. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

LIFE Ebro Resilience P1 (LIFE20 ENV/ES/00327) (Periodo de intervención LIFE es 2021-2027, presupuesto total de 13.310.350 €)

Objeto

- Mejorar la resiliencia frente al peligro de inundación a través de la participación social y la mejora del estado ecológico del río y su biodiversidad, con el objetivo último de que la población y las actividades económicas convivan asegurando el buen estado de conservación del río y sin que sus inevitables crecidas produzcan daños importantes.

Descripción:

- El tramo medio del Ebro está catalogado como zona con alta probabilidad de inundación. Durante el siglo XX, la mayoría de las medidas adoptadas se centraron en la visión de protección total, sin la consideración de los aspectos medioambientales. A comienzos del siglo XXI se produce un cambio de enfoque en la gestión del riesgo de inundación que ha desembocado en la Estrategia Ebro Resilience y el Proyecto LIFE Ebro Resilience P1, cuyos planteamientos se basan

Ámbito Territorial:

- La Rioja, Navarra y Aragón.

Sector(es)/subsector:

- Agua.

Entidad(es) del proyecto:

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), a través de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y las empresas públicas TRAGSA Y TRAGSATEC; los gobiernos de La Rioja, Navarra, a través de Gestión Ambiental de Navarra, S.A. (GAN-NIK) y de Aragón y el Instituto Aragonés del Agua.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

en la adaptación a la inundación y la protección de los ecosistemas fluviales en un contexto de cambio climático, a través de la recuperación de llanuras aluviales y bosque ribereño, la implicación de la población local, la creación de hábitats para especies amenazadas y la eliminación de especies exóticas invasoras.

Aspectos destacables:

- Proyecto innovador centrado en la coordinación interadministrativa a nivel estatal, autonómico y local, la participación de la población como eje transversal de las acciones y parte indisociable de la gestión de las inundaciones y la combinación de medidas de adaptación tecnológica para el diseño de las acciones de adaptación al cambio climático.

  El proyecto supone un cambio en la gestión de las inundaciones, estableciendo un nuevo modelo fluvial basado en la adaptación a la inundación y la conservación de los ecosistemas fluviales.

  El proyecto implementa medidas derivadas de la evaluación del riesgo realizada en el PGRI, cuyos análisis (ARPSIs, mapas de peligrosidad y riesgo) , permiten identificar las zonas más vulnerables.

  LIFE Ebro Resilience P1 pretende ser referencia para el comienzo de intervenciones similares en otras zonas del Ebro, estableciendo también una estrategia replicable a nivel nacional y europeo en cuencas hidrográficas con problemas similares.

Escala:

- Demarcación hidrográfica. Cuenca del río Ebro.

Riesgo(s):

- Riesgo de daños por inundaciones.

Enlaces:

- https://www.ebroresilience.com/proyecto-life-p1/

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

El sector del agua es un sector transversal al resto de sectores analizados, dado su carácter fundamental para el desarrollo de muchos de ellos (agricultura, energía, patrimonio natural, forestal) o su papel condicionante (turismo, movilidad y transporte). Además, este carácter trasversal convierte el uso del agua en una potencial fuente de conflictos, afectando así a otros de los sectores analizados (paz, cohesión social y patrimonio cultural). Desde los organismos públicos se ha hecho un gran esfuerzo para que la información sobre la disponibilidad y uso del agua sea pública y accesible, por lo que las limitaciones de información en el sector son mínimas. A pesar de ello, existen algunas limitaciones que condicionan la evaluación del impacto del cambio climático de los riesgos analizados.

La entrada en vigor de la DMA supuso un cambio significativo en este ámbito. Por un lado, la puesta a punto de los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH) ha permitido que la información relativa a precipitaciones, caudales circulantes en ríos y aportaciones, desembalses, volúmenes de agua almacenada en los embalses esté disponible tanto de manera histórica como en tiempo real. Además, desde su creación, estos sistemas han experimentado numerosas mejoras, incrementando la cantidad de información accesible. Por otro lado, la implantación de los ciclos de Planificación Hidrológica ha favorecido que muchas decisiones en materia de gestión hidrológica se discutan públicamente en mesas de participación y talleres, manteniéndose esta información disponible en todo momento. Esta disponibilidad de información y su acceso disminuyen cuando se quiere conocer en detalle algunos usos del agua. A pesar de que esta información se encuentra disponible en los anejos de los PHC, las escalas de agregación utilizadas, tanto espacial como temporal, no permiten saber con precisión las dotaciones de riego realizadas, cuáles son las operaciones de gestión de embalses, cuáles son los volúmenes de agua turbinados, o qué medidas concretas de mantenimiento de infraestructuras se han llevado a cabo.

La DMA obliga también a cada estado miembro a realizar informes de seguimiento para garantizar el buen estado de las masas de agua. Estos informes son de carácter público incluyendo en ellos información sobre la calidad de estas masas. Sin embargo, a pesar de este esfuerzo siguen existiendo lagunas importantes en el seguimiento del buen estado de las masas de agua, tanto en lo que se refiere a la cobertura espacial como en lo relativo a la confianza en la evaluación, ya que, por ejemplo, no en todas las demarcaciones hidrográficas se han incluido todas las sustancias priori-

tarias en los programas de monitoreo. Asimismo, aunque se han realizado avances significativos en la armonización de las clasificaciones nacionales de buen estado de las masas de agua, sigue existiendo una brecha en cuanto a la armonización a escala europea, lo que dificulta la comparación de la evaluación del estado global de los países miembros. Mucha de esta información sobre calidad se encuentra agregada a escala de peninsular o de demarcación hidrográfica, generando incertidumbres en su trasposición a escalas más locales.

En lo relativo a la información sobre cambio climático, la incertidumbre de las proyecciones climáticas constituye la principal limitación. Por un lado, los modelos climáticos poseen unas escalas espaciales mayores a las generalmente utilizadas para gestión, siendo especialmente relevantes en cuencas pequeñas y en zonas montañosas (Tramblay *et al.,* 2019). Por otro lado, muchos de los factores de riesgo subyacentes no son tenidos en cuenta a la hora de evaluar escenarios futuros. Así, por ejemplo, no se incluyen en mucho de las evaluaciones de impacto: (i) los cambios en los usos de suelo, que alteran las relaciones infiltración-escorrentía-evapotranspiración; (ii) la gestión de los recursos hídricos, que pueden modificar los volúmenes de agua disponible y su uso; y (iii) la variabilidad del caudal medio y máximo de los cauces, especialmente en pequeñas cuencas altamente gestionadas y modificadas, y aquellas que dependen del deshielo (Douville *et al.,* 2021). Por último, el hecho de que la mayor parte de los peligros climáticos que condicionan los riesgos del sector tengan una frecuencia decadal o multidecadal, hace que demostrar con total fiabilidad un cambio en su magnitud y frecuencia atribuible como causa directa al cambio climático, sea difícil (MITECO, 2018a).Del mismo modo, el uso de modelos hidrológicos para trasladar la información climática a información hidrológica no suele estar adaptado a estas condiciones locales y no suele incluir aspectos de gestión, lo que hace que las incertidumbres asociadas en algunos casos sean elevadas.

8. Referencias

- Adroches (2024). Informe Estrategia de desarrollo local Los Pedroches 2023-2027. Disponible en: https://adroches.org/index.php/leader-23-27/201-1-estrategia-desarrollo-local-los-pedroches-2023-2027/file
- Agudo, P.A., La Calle, A., Saura, J., Cubillo, F., Pita, M.F., López, J.A., Mujeriego, R., Hernández, S., Roldán, J., Cabrera, E., Castro, A. & Guijarro, L. (2006). Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/enlaces-de-interes/doc_sequia_espana_new_tcm30-278172.pdf
- Agudo, P.A. & del Moral, L. (2023). Impactos de la sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas sobre el derecho humano al algua. Perspectiva global y valoración de la situación en Andalucía. Disponible en: https://www.ortizbenjumea.com/wp-content/uploads/2024/02/IMPACTO-EXPLOTACION-DE-LAS-AGUAS-SUBTERRANEAS.-ANDALUCIA.pdf
- Alfieri, L., Dottori, F. & Feyen, L. (2017). JRC PESETA III project. Task 7 – River floods. Disponible en: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110308/task_7_floods_final_report_dec2018.pdf.
- Allen, S., & Otero, N. (2023). Standardised indices to monitor energy droughts. *Renewable Energy*, *217*, 119206.
- Amblar, P., Casado, M.J., Pastor, A., Ramos, P. & Rodríguez, E. (2017). Guía de escenarios regionalizados de Cambio Climático en España, a partir de los resultados del IPCC-AR5. *Agencia Estatal de Meteorología (AEMET),* Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, NIPO: 014-17-010-8.
- Amengual, A. (2025). Characterization of extreme flash floods in Mediterranean Spain, *J. Hydrol.*, 659, 133229, ISSN 0022-1694.
- AMCESFI (2023). Informe bienal de riesgos del cambio climático para el Sistema financiero, 2023, Número 1. Autoridad Macroprudencial, Consejo de Estabilidad Financiera (AMCESFI). Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Disponible en: https://dgsfp.mineco.gob.es/eu/Publicaciones/DocumentosPublicaciones/AMCESFI_Informe_Cambio_Climatico_2023.pdf
- Amponsah, W., Ayral, P.-A., Boudevillain, B., Bouvier, C., Braud, I., Brunet, P., Delrieu, G., Didon-Lescot, J.-F., Gaume, E., Lebouc, L., Marchi, L., Marra, F., Morin, E., Nord, G., Payrastre, O., Zoccatelli, D. & Borga, M. (2018). Integrated high-resolution dataset of high-intensity European and Mediterranean flash floods. *Earth Syst. Sci. Data* 10, 1783–1794.
- Andrés-Doménech, I., Anta, J., Perales-Momparler, S. & Rodriguez-Hernandez, J. (2021). Sustainable urban drainage systems in Spain: A diagnosis. *Sustain.*, *13*(5), 2791.
- Andreu, J.M. & Fernández, M. (2019). Las aguas subterráneas en España: hacia la sostenibilidad del recurso. Congreso Nacional del Agua 2019: innovación y sostenibilidad Temática: aguas superficiales y subterráneas 1229-1254.
- Aon (2024). Climate and Catastrophe Insight. Disponible en: https://assets.aon.com/-/media/files/aon/reports/2024/climate-and-catastrophe-insights-report.pdf

- Atarés, M. L. (2016). La red de alcantarillado exige inversión para renovarse. *Revista agua y medio ambiente*, el Economista, Nº 25.
- Balasch, J.C., Pino, D., Ruiz-Bellet, J.L., Tuset, J., Barriendos, M., Castelltort, X. & Peña, J.C. (2019). The extreme floods in the Ebro River basin since 1600 CE. *Sci. Tot. Environ.*, 646, pp. 645-660.
- Barriendos, M., Gil-Guirado, S., Pino, D., Tuset, J., Pérez-Morales, A., Alberola, A., Costa, J., Balasch, J.C., Castelltort, X., Mazón, J. & Ruiz-Bellet, J.L. (2019). Climatic and social factors behind the Spanish Mediterranean flood event chronologies from documentary sources (14th–20th centuries). *Glob. Planet. Change*, 182, 102997, ISSN 0921-8181.
- Bellvert, J., Pamies-Sans, M., Casadesus, J. & Girona, J. (2025). Evaluating the impact of drought and water restrictions on agricultural production in irrigated areas through crop water productivity functions and a remote sensing-based evapotranspiration model. *Agri. Water Manag.*, *309*, 109319.
- Benítez-Cano, D., González-Marín, P., Gómez-Gutiérrez, A. *et al.* (2024). Association of drought conditions and heavy rainfalls with the quality of drinking water in Barcelona (2010–2022). *J Expo Sci Environ Epidemiol* 34, 175–183.
- Betts, R. B. & Brown, K. (2021). The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report. [Betts, R.A., Haward, A.B. and Pearson, K.V. (eds.)]. Prepared for the Climate Change Committee, London.
- Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Guenther, S., Mentaschi, L. & De Roo, A., (2018). Impact of a changing climate, land use, and water usage on Europe's water resources: A model simulation study, EUR 29130 EN, *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-80287-4.
- BOE, Jefatura de estado (2023). Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo. Boletín Oficial del Estado, Núm. 113, Sec. I., pág. 65810, Madrid.
- Bolan, S., Padhye, L.P., T., Jasemizad, Govarthanan, M., Karmegam, N., Wijesekara, H., Amarasiri, D., Hou, D.P., Zhou, Biswal, B.K., Balasubramanian, R., Wang, H., Siddique, K.H.M., Rinklebe, J., Kirkham, M.B. & Bolan, N. (2024). Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Sci. Tot. Environ.*, 909, 168388, ISSN 0048-9697.
- Bravo-Paredes, N., Gallego, M.C., Vaquero, J.M. & Trigo, R.M. (2021). The catastrophic floods in the Guadiana River basin since 1500 CE. *Sci. Total Environ.*, Volume 797, 149141, ISSN 0048-9697.
- Cabrera, E. (2007). El suministro de agua urbano en España. *Fundación Nueva Cultura del Agua*. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas.
- Camargo, J.A., Alonso, A. & de la Puente, M. (2025). Eutrophication downstream from small reservoirs in mountain rivers of Central Spain, *Water Res.*, 39, 14, 3376-3384, ISSN 0043-1354,
- Camuffo, D., Bertolin, C., Diodato, N., Cocheo, C., Barriendos, M., Domínguez-Castro, F., Garnier, E., Alcoforado, M-J. & Nunes, M. (2013). Western Mediterranean precipitation over the last 300 years from instrumental observations. *Clim. Change*, 117: 85-101.
- Carvalho, D., Pereira, S. C., Silva, R. & Rocha, A. (2022). Aridity and desertification in the Mediterranean under EURO-CORDEX future climate change scenarios. *Clim. Change*, *174*(3), 28.
- CCS (2024). Estadística. Riesgos Extraordinarios. Serie 1971-2023. Legal Deposit: M-23915-2016. Disponible en: https://www.consorseguros.es/la-entidad/publicaciones; last access: 02 August 2025.

- CEDEX (2013). Catálogo y publicación de sequías históricas, informe técnico. Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/enlaces-de-interes/catalogo-y-publicacion-sequias-historicas_tcm30-436651.pdf.
- CEDEX (2017). Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. Disponible en: https://ceh.cedex.es/web/documentos/CAMREC/2017_07_424150001_Evaluaci%C3%B3n_cambio_clim%C3%A1tico_recu.pdf
- CEDEX, 2021. Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Vicepresidencia Cuarta del Gobierno. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: https://ceh.cedex.es/web/Imp_CClimatico_Pmax.htm
- Contreras, E., Aguilar, C. & Polo, M.J. (2023). Accounting for the annual variability assessing non-point source pollution potential in Mediterranean regulated watersheds. *Sci. Total Environ*., 902, 167261.
- Contreras, E., Jurado-Ezqueta, M., Pimentel, R., Serrano, L., Hidalgo, C., Jiménez, A., & Polo, M. J. (2024). Assessment of seasonal and annual patterns in phosphorus content in a monitored catchment through a partitioning approach based on hydrometeorological data. *Environ. Res.*, *242*, 117501.
- Cos, J., Doblas-Reyes, F., Jury, M., Marcos, R., Bretonnière, P.A. & Samsó, M. (2022). The Mediterranean climate change hotspot in the CMIP5 and CMIP6 projections. *Earth Syst. Dynam.*, 13, 321–340.
- Cuthbert, M.O., Gleeson, T., Moosdorf, N., Befus, K.M., Schneider, A., Hartmann, J. & Lehner. B. (2019) Global patterns and dynamics of climate-groundwater interactions *Nat. Clim. Change*, 9, pp. 137-141.
- Damiano, E. & Mercogliano, P. (2013). Potential Effects of Climate Change on Slope Stability in Unsaturated Pyroclastic Soils, in: Landslide Science and Practice, edited by: Margottini, C., Canuti, P., and Sassa, K., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 15–25.
- Dankers, R., Arnell, N. W., Clark, D. B., Falloon, P. D., Fekete, B. M., Gosling, S. N., Heinke, J., Kim, H., Masaki, Y., Satoh, Y., Stacke, T., Wada, Y. & Wisser, D. (2014). First look at changes in flood hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(9), 3257-3261.
- De Felipe, M. Aragonés, D. & Díaz-Paniagua, C. (2023). Thirty-four years of Landsat monitoring reveal long-term effects of groundwater abstraction on a World Heritage Site wetland. *Sci. Total Environ*. 880, 163329.
- De Girolamo, A.M., Barca, E., Leone, M. & Lo Porto, A. (2022). Impact of long-term climate change on flow regime in a Mediterranean basin. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 41 (101061).
- De la Vara, A., Cabos, W., Gutiérrez, C., Olcina, J., Matamoros, A., Pastor, F., Khodayar, S. & Ferrando, M. (2024). Climate change impacts on the tourism sector of the Spanish Mediterranean coast: Medium-term projections for a climate services tool. *Clim. Serv.*, 34, 100466, ISSN 2405-8807.
- De Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Longares, L.A. & Martin-Vide, J. (2010). Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005. *Glob. Planet. Change,* 47(1), 27-33.
- Del Jesus, M., & Diez-Sierra, J. (2023). Climate change effects on sub-daily precipitation in Spain. *Hydrol. Sci. J.I*, *68*(8), 1065–1077.

- Devitt, L., Neal, J., Coxon, G. Gemma Coxon, Savage, J. & Wagener, T. (2023). Flood hazard potential reveals global floodplain settlement patterns. *Nat. Commun.* 14, 2801.
- Dobel, A. J., May, L., Gunn, I., Spears, B. & Edwards, F. (2020a). Lakes and reservoirs: Report card 2020. *Wallingford, About Drought*, 15pp.
- Dobel, A. J., O'Hare, M., Gunn, I. & Edwards, F. (2020b). Streams and rivers: Report card 2020. *Wallingford, About Drought*, 16pp.
- Dong, X., Jiang, L., Zeng, S., Guo, R., & Zeng, Y. (2020). Vulnerability of urban water infrastructures to climate change at city level. *Resour., Conserv. Recycl.*, *161*, 104918.
- Dorado-Guerra, D.Y., Paredes-Arquiola, J., Pérez-Martín, M.A., Corzo-Pérez, G. & Ríos-Rojas, L. (2023). Effect of climate change on the water quality of Mediterranean rivers and alternatives to improve its status, *J. Environ. Manage.*, 348, 119069, ISSN 0301-4797,
- Dottori, F., Mentaschi, L., Bianchi, A., Alfieri, L., Feyen, L. (2020). Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change. *JRC Publications Repository*. Disponible en: https://doi.org/10.2760/14505
- Douville, H., Raghavan, K., Renwick, J., Allan, R.P., Arias, P.A., Barlow, M., Cerezo-Mota, R., Cherchi, A., Gan, T.Y., Gergis, J., Jiang, D., Khan, A., Pokam Mba, W., Rosenfeld, D., Tierney, J. & Zolina, O. (2021): Water Cycle Changes. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. (eds.)]. *Cambridge University Press,* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055–1210.
- Downing, J. A., Prairie, Y. T., Cole, J. J., Duarte, C. M., Tranvik, L. J., Striegl, R. G., McDowell, W. H., Kortelainen, P., Caraco, N. F., Melack, J. M. & Middelburg, J. J. (2006). The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnol. Oceanogr.,* 51(5), 2006, 2388–2397.
- Du, X., Jian, J., Du, C. & Stewart, R.D. (2022). Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 10(2), 188-196.
- Duffin, J., Yager, E.M., Buffington, J.M., Benjankar, R., Borden, C., Tonina, D. (2023). Impact of flow regulation on stream morphology and habitat quality distribution, Science of The Total Environment, 878, 163016, ISSN 0048-9697.
- Dulsat-Masvidal, M., Ciudad, C., Infante, O., Mateo, R. & Lacorte, S. (2023). Water pollution threats in important bird and biodiversity areas from Spain. *J. Hazard. Mat.*, *448*, 130938.
- EC (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. *Diario Oficial de la Unión Europea,* L327/1,22.12.2000.
- EC (2007). Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. *Diario Oficial de la Unión Europea,* L288/27,6.11.2007.
- EC (2025). Commission Staff Working Document SWD (2025) 24 final. Third River Basin Management Plans, Second Flood Hazard and Risk Maps and Second Flood Risk Management Plans, Member State: Spain. Accompanying the document Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) and the Floods Directive (2007/60/EC) Third River Basin Management Plans Second Flood Risk Management Plans.

- EEA (2021), European Environment Agency. Ecological status of surface waters in Europe. EEA Analysis and data, Indicators, Disponible en: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/ecological-status-of-surface-waters?activeAccordion=ecdb3bcf-bbe9-4978-b5cf-0b136399d9f8.
- EEA (2024), European Environment Agency. Cooling Degree Days. EEA Analysis and data, Maps and charts, Disponible en: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/cooling-degree-days
- EFE, 2024. España tiene 25.000 kilómetros de zonas inundables, especialmente en cuencas Ebro y Júcar. EFE Noticias. Disponible en: https://efe.com/medio-ambiente/2024-03-01/zonas-inundables-viviendas-indemnizaciones-rios/
- Ehsani, N., Vörösmarty, C. J., Fekete, B. M. & Stakhiv, E. Z. (2017). Reservoir operations under climate change: Storage capacity options to mitigate risk. *J. Hydrol.*, *555*, 435-446.
- Eklund, G., Sibilia, A., Salbi, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z. & Corbane, C. (2023). Towards a European wide vulnerability framework: a flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. *Publications Office*, LU.
- ERHIN (2008). Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas. El programa Erhin (1984-2008), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/Libro%20ERHIN_tcm30-215000.pdf
- ERHIN (2011). Los glaciares del Pirineo español, MAGRAMA, Madrid. Disponible en: https://sig.mapama.gob.es/Docs/PDFServicios/GlaciaresERHIN.pdf
- Espinosa-Tasón, J., Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C & Musolino, D.A. (2022). Socioeconomic impact f 2005-2008 drought in Andalusian agriculture. *Sci. Total Environ. 826, 154148.*
- ESPON (2011). Climate Change and Territorial Effects on Regions and Local Economies. Disponible en: https://archive.espon.eu/sites/default/files/attachments/Final%20Report%20Executive%20Summary.pdf
- ESPON (2021). Proyecto Impactos territoriales de los desastres naturales, ESPON-TITAN. Disponible en: https://archive.espon.eu/natural-disasters
- Estrela, T. & Vargas, E. (2012). Drought Management Plans in the European Union. The Case of Spain. *Water Resour. Manag.* 26, 1537–1553.
- Estrela-Segrelles, C., Gómez-Martínez, G. & Pérez-Martín, M.Á (2023). Climate Change Risks on Mediterranean River Ecosystems and Adaptation Measures (Spain). *Water Resour. Manag.* 37, 2757–2770.
- Faranda, D. (2020). An attempt to explain recent changes in European snowfall extremes. *Weather Clim. Dynam.*, 1, 445–458.
- Fazelpoor, K., Martínez-Fernández, V. & de Jalón, D. G. (2021). Exploring the hydromorphological response to human pressure in Tagus River (1946–2014) by complementary diagnosis. *Catena*, *198*, 105052.
- Ferguson, G. & Gleeson, T. (2012). Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nat. Clim. Change* 2, 342–345.
- Florido-Benítez, L. (2024). The priority of wáter consumption in the Spanish tourism industry: a dilemma for residents and researchers. *Appl. Sci.*, 14(16), 7125.

- Fluixá-Sanmartín, J., Altarejos-García, L., Morales-Torres, A. & Escuder-Bueno, I. (2018). Review article: Climate change impacts on dam safety. *Nat. Hazard. Earth Syst. Sci.*, 18, 2471–2488.
- Forzieri, G., Feyen, L., Russo, S., Vousdoukas, M., Alfieri, L., Outten, S., Migliavacca, M., Bianchi, A., Rojas, R. & Cid, A. (2016). Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Clim. Change*, 137, 105-119.
- Gaitán, E., Monjo, R., Pórtoles, J. & Pino-Otín, M.R. (2020). Impact of climate change on drought in Aragon (NE Spain). *Sci. Total Environ.*, 740 (140094).
- García-Valdecasas, M., Romero-Jiménez, E., Rosa-Cánovas, J.J., Yeste, P., Castro-Díez, Y., Esteban-Parra, M.J., Vicente-Serrano, S.M. & Gámiz-Fortis, S.R. (2021). Assessing Future Drought Conditions over the Iberian Peninsula: The Impact of Using Different Periods to Compute the SPEI. *Atmosp.* 12(8), 980.
- García-Vega, A., Sanz-Ronda, F.J., Fernandes Celestino, L., Makrakis, S. & Leunda, P.M. (2018). Potamodromous brown trout movements in the North of the Iberian Peninsula: Modelling past, present and future based on continuous fishway monitoring. *Sci. Tot. Environ.*, 640–641, 1521-1536, ISSN 0048-9697,
- Geng, S.M., Yan, D.H., Zhang, T.X., Weng, B.S., Zhang, Z.B & Qin, T.L. (2015). Effects of drought stress on agriculture soil. *Nat. Hazards,* 75, 1997–2011.
- Gil-Guirado, S., Pérez-Morales, A., Pino, D., Peña, J.C. & López Martínez, F. (2022). Flood impact on the Spanish Mediterranean coast since 1960 based on the prevailing synoptic patterns. *Sci. Total Environ.*, Volume 807, Part 1, 150777, ISSN 0048-9697.
- Gómez, C.M. & Maestu, J. (2023). Water Resilience for Economic Resilience in Spain: A Critical Crossroads. *Alliance for Global Water Adaptation*, published on March 22, 2023.
- González-Rodriguez, L., McCallum, A., Kent, D., Rathnayaka, C. & Fairweather, H. (2023). A review of sedimentation rates in freshwater reservoirs: recent changes and causative factors. *Aquat. Sci.*, *85*(2), 60.
- Gratsea, M., Varotsos, K.V., López-Nevado, J., López-Feria, S. & Giannakopoulos, C. (2022). Assessing the long-term impact of climate change on olive crops and olive fly in Andalusia, Spain, through climate indices and return period analysis, *Clim. Serv.*, Volume 28, 100325, ISSN 2405-8807,
- Green A.J., Guardiola-Albert, C., Bravo-Utrera, M.A., Bustamante, J., Camacho, A., Camacho, C., Contreras-Arribas, E., Espinar, J.L., Gil-Gil, T, Gomez-Mestre, I., Heredia-Díaz, J., Kohfahl, C., Negro, J.J., Olías, M., Revilla, E., Rodríguez-González, P.M., Rodríguez-Rodríguez, M., Ruíz-Bermudo, F., Santamaría, L., Schmidt, G., Serrano-Reina, J.A. & Díaz-Delgado, R. (2024). Groundwater Abstraction has Caused Extensive Ecological Damage to the Doñana World Heritage Site, Spain, *Wetlands*.
- Hansen, B.B., Isaksen, K., Benestad, R.E., Kohler, J., Pedersen, Å. Ø., Loe, L.E., Coulson, S.J., Larsen, J.O. & Varpe, Ø. (2014). Warmer and wetter winters: characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic. *Environ. Res. Lett.* 9 114021.
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J. & Bryan, B.A. (2021a). Futures global urban water scarcity and potential solutions. *Nat. Commun*, 12, 4667.
- He, X., Bryant, B.P., Moran, T., Mach, K.J., Wei Z. & Freyberg, D. L. (2021b). Climate-informed hydrologic modeling and policy typology to guide managed aquifer recharge. *Sci Adv.* 2021 Apr 21;7(17):eabe6025.
- Herrero, R. (2016). Renovación y mantenimiento de infraestructuras hidráulicas en medio urbano. Redacción iagua. Disponible en: https://www.iagua.es/blogs/raul-herrero/renovacion-y-mantenimiento-infraestructuras-hidraulicas-medio-urbano

- Herrero, J. & Polo, M.J. (2016). Evaposublimation from the snow in the Mediterranean mountains of Sierra Nevada (Spain), *The Cryosphere*, 10, 2981–2998.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H. & Kanae, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Clim Change* 3, 816–821.
- Hispagua, Sistema Español de Información sobre el Agua (2021). *Industria*. Gobierno de España. Disponible en: https://hispagua.cedex.es/datos/industria.
- Höllermann, B. & Heidenreich, A. (2025). Certainly uncertain: the role of uncertainty perception for flood risk preparedness and response. *Nat Hazards(2025)*.
- Hooke, J.M. (2016). Geomorphological impacts of an extreme flood in SE Spain, *Geomorphology*, 263, 19-38, ISSN 0169-555X.
- Hu, H. & Hewitt, R.J. (2024). Future climate risks to world cultural heritage sites in Spain: A systematic analysis based on shared socioeconomic pathways. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 113, 104855, ISSN 2212-4209.
- Hurtado, A.R., Díaz-Cano, E. & Berbel, J. (2024). The paradox of success: Water resource closure in Axarquia (southern Spain). *Sci. Total Environ.*, 946 (174318).
- iAgua (2025). El cambio climático podría costarle a España hasta un 3 % del PIB para 2040-2050, según un estudio. Disponible en: https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/cambio-climatico-podria-costarle-espana-3-pib-2040-2050-segun-estudio
- Ibáñez, C., & Caiola, N. (2013). Impacts of water scarcity and drought on Iberian aquatic ecosystems. In Drought in arid and semi-arid regions: A multi-disciplinary and cross-country perspective (pp. 169-184). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G. & Huisingh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, vol 9, issue 8, e18507.
- International Commission on Large Dams—ICOLD (2016). Global Climate Change, Dams, Reservoirs and Related Water Resources; ICOLD Technical Committee: Chatou, France.
- Instituto de las Mujeres. Ministerio de Igualdad. (2021). Riesgos climáticos desde la perspectiva de género. Percepción, posicionamiento y adaptación en mujeres y hombres. Disponible en: https://www.inmujeres.gob.es/areasTematicas/MedioAmbienteCambioClimatico/Docs/RiesgosClimaticosPerspectivaGenero.pdf
- IPCC (2022): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama B. (eds.)]. *Cambridge University Press.*, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- IPCC (2023). Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. *IPCC*, Geneva, Switzerland, pp. 35-115.
- IUCN (2006). The Status and Distribution of Freshwater Endemic to the Mediterranean Basin. IUCN Freshwater Biodiversity Assessment Programme. *The World Conservation Union (IUCN)*, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Disponible en: https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2006-002.pdf.

- Jenkins, K (2013). Indirect economic losses of drought under future projections of climate change: a case study for Spain. *Nat. Hazards* 69, 1967-1986.
- Jewson, S., Maynard, T. & Dottori, F. (2023). A service to help insurers understand the financial impacts of changing flood risk in Europe, based on PESETA IV, *Clim. Serv.*, 30, 100395, ISSN 2405-8807.
- Jiang, J., Wang, Z., Zhang, Z., Wu, X., Lai, Ch., Zeng, Z. & Chen, X., (2025) .Extreme drought-heatwave exacerbates water quality deterioration in China. *Ecol. Indic.*, 170, 113008, ISSN 1470-160X.
- Jodar-Abellan, A., Valdes-Abellan, J., Pla, C. & Gomariz-Castillo, F. (2019). Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watersheds (SE Spain), *Sci. Total Environ.*, 657, 1578-1591, ISSN 0048-9697.
- Kahil, M.T., Albiac, J., Dinar., A., Clavo, E., Esteban, E., Avella, L. & García-Molla, M. (2016). Improving the Performance of Water Policies: Evidence from Drought in Spain. *Water*, 8(2), 34.
- Knittel, N., Tesselaar, M., Wouter Botzen, W. J., Bachner, G. & Tiggeloven, T. (2023). Who bears the indirect costs of flood risk? An economy-wide assessment of different insurance systems in Europe under climate change. *Econ. Syst. Res.*, 36(1), 131–160.
- Kumar, A. & Thakur, A. (2024). Chapter 7 – Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals. *Curr. Dir. Water Scarc. Res.*, 8, 87-117.
- Lax-Martinez, G. (2024). Reservoirs of power: The political legacy of dam construction in Franco's Spain, *Explor. Econ. Hist.,* Volume 94, 101628, ISSN 0014-4983.
- Leduc, C., Pulido-Bosch, A. & Remini, B. (2017). Anthropization of groundwater resources in the Mediterranean region: processes and challenges. *Hydrogeol. J.*, 25, 1529-1547.
- Leone, M., Gentile, F., Lo Porto, A., Ricci, R.F., Schürz, C., Strauch, M., Volk, M. & De Girolamo, A.M (2024). Setting an environmental flow regime under climate change in a data-limited Mediterranean basin with temporary river, *J. Hydrol. Reg. Stud.*, Volume 52, 2024, 101698, ISSN 2214-5818.
- Lin, Y-I., Pan, S-Y., Chang, H-H., Yu, M-S. & Lin W-L. (2023). Will extreme drought impact the reservoir water quality? A 30-year observational study. *Agri. Water Manag.*, 289, 108574.
- Liu, S., Pérez-Sánchez, J., Jimeno-Sáez, P., Alcalá, F.J. & Senent-Aparicio, J. (2022). A novel approach to assessing the impacts of dam construction on hydrologic and ecosystem alterations. Case study: Castril river basin, Spain, *Ecohydrol. Hydrobiol.*, Vol. 22, Issue 4, 598-608.
- Liu, Z., Ying, J., He, C., Guan, D., Pan, X., Dai, Y., Gong, B., He, K., Lv, C., Wang, X., Lin, J. & Bryan, B.A (2024). Scarcity and quality risks for future global urban water supply. *Landsc. Ecol.*, 39, 10.
- Llamas, M. R. (1997). Consideraciones sobre la sequía de 1991 a 1995 en España. *Ingeniería Del Agua*, 4(1), 39–50.
- Llasat, M.C., Marcos, R., Turco, M., Gilabert, J. & Llasat-Botija, M. (2016). Trends in flash flood events versus convective precipitation in Mediterranean region: The case of Catalonia. *J. Hydrol.*, 541, Part A, 24-37.
- Llasat, M.C., del Moral, A., Cortès, M. & Rigo, T. (2021). Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region, *Atmos. Res.*, Volume 257, 105581,ISSN 0169-8095.

- López-Ballesteros, A., Trolle, D., Srinivasan, R. & Senent-Aparicio, J. (2023). Assessing the effectiveness of potential best management practices for science-informed decision support at the watershed scale: The case of the Mar Menor coastal lagoon, Spain. *Sci. Tot. Environ., 859*, 160144.
- López-Díaz, J.A. (2023). Un estudio estadístico de la frecuencia de la sequía y su tendencia en España. *Revista Tiempo y Clima*, 5(81), 40-43.
- López-Moreno, J.I. & García-Ruíz, J.M. (2004). Influence of snow accumulation and snowmelt on streamflow in the central Spanish Pyrenees. *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 49, N°5, p. 787-802.
- López-Moreno, J.I., Zabalza, J., Vicente-Serrano, S.M., Revuelto, J., Gilaberte, M., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., García-Ruiz, J.M. & Tague, C. (2014). *Sci. Total Environ.*, 493, 1222-1231.
- López-Moreno, J.I., Gascoin, S., Herrero, J., Sproles, E.A., Pons, M., Alonso-González, E., Hanich, L., Boudhar, A., Musselman, K.N., Molotch, N.P., Sickman, J. & Pomeroy, J. (2017). Different sensitivities of snowpacks to warming in Mediterranean climate mountains areas, *Environ. Res. Lett.*, 12, 0704006.
- López-Ortiz, M. I. & Melgarejo Moreno, J. (eds.). (2020). Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes. Alacant: Universitat d'Alacant. ISBN 978-84-1302-091-4, 1329 p.
- Lorente, J.M. (1945). La gran sequía del año agrícola 1944-1945. Servicio Meteorológico Nacional. *Calendario meteorofenológico. 1946*, p. 79-83. ISSN : 0490-3463.
- Lorenzo, M. N., Pereira, H., Alvarez, I. & Dias, J. M. (2024). Standardized Precipitation Index (SPI) evolution over the Iberian Peninsula during the 21st century. *Atmos. Res.*, *297*, 107132.
- Madruga, M. (2021). Compound and cascading drought impacts do not happen by chance: A proposal to quantify their relationships. *Sci. Tot. Environ.*, 778, 146236.
- MAPA. (2023). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Análisis de los regadíos en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones N.I.P.O.: 003-22-128-9.
- MAPAMA (2017a). Guía para la reducción de la vulnerabilidad de edificios frente a las inundaciones. *Convenio de Compensación de Seguros*, por Convenio de Consorcio de Compensación de Seguros, entidad pública empresarial del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y la Dirección General del Agua del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- MAPAMA (2017b). Informe-resumen de situación de la sequía hidrológica. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- Martínez-Dalmau, J., Gutiérrez-Martín, C., Kahil, T. & Berbel, J. (2023). Impacto f alternative water policies for drought adaptation in the Guadalquivir Mediterranean River basin, Southern Spain. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 47 (101444).
- Mas-Coma, S., Artigas, P., Cuervo, P.F., De Elías-Escribano, A., Fantozzi, M.C., Colangeli, G., Córdoba, A., Marquez-Guzman, D.J., Mas-Bargues, C., Borrás, C., Pérez-Pérez, P., Bethencourt-Estrella, C.J., Rodríguez-Expósito, R.L., Peña-Prunell, M.P., Chao-Pellicer, J., García-Pérez, O., Domínguez de Barros, A.T., García-Ramos, A., Sirvent-Blanco, C., Gajeta-Arenas, M., Córdoba-Lanús, A.E., Piñero, J.E., Valero, M.A., Lorenzo-Morales, J. & Bargues, M.D. (2025). Infectious disease risk after the October 2024 flash flood in Valencia, Spain: Disaster evolution, strategic scenario analysis, and extrapolative baseline for a One Health assessment, *One Health*, 21, 101093, ISSN 2352-7714.

- Masroor, M., Sajjad, H., Rehman, S., Singh, R., Rahaman, M.H., Sahana, M., Ahmed, R. & Avtar, R. (2022). Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Gadavari middle sub-basin, India. *Geosci. Front.*, 13(2) (101312).
- Matte, D., Christensen, J.H. & Ozturk, T. (2022). Spatial extent of precipitation events: when big is getting bigger. *Clim. Dyn.,* 58, 1861–1875.
- Mediero, L., Santillán, D., Garrote, L. & Granados, A. (2014). Detection and attribution of trends in magnitude, frequency and timing of floods in Spain. *J. Hydrol.,* 517, 1072–1088.
- Megina, C., Donázar-Aramedía, I., Miró, J.M., García-Lafuente, J. & García-Gómez, J.C. (2023). The hyperturbid mesotidal Guadalquivir estuary during an extreme turbidity event: Identifying potential management strategies, *Ocean Coastal Manage.*, 246, 106903, ISSN 0964-5691.
- Meira Cartea, P.A., Arto-Blanco, M. & Pardellas, M. (2021). La sociedad española ante el cambio cllimático. Percepción y comportamiento de la población. IDEARA investigación.
- Millares, A., & Moñino, A. (2018). Sediment yield and transport process assessment from reservoir monitoring in a semi-arid mountainous river. *Hydrol. Process.*, *32*(19), 2990-3005.
- MIMAM, (2000). El Libro Blanco del Agua en España. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Agua y Costas, Madrid. Texto final de septiembre de 2000. Dirección General de Obras Hidráulicas.
- MIMAM, (2001). Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) el 24 de julio de 2001, número 176, BOE-A-2001-14276. https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2001/07/20/1/con
- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2023). Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro. BOE-A-2023-628
- Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. (2008). Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) el 22 de septiembre de 2008, número 229, páginas 38472 a 38582. Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/o/2008/09/10/arm2656.
- Ministerio de Sanidad (2023). Calidad del agua de consumo en España 2023. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/areas/sanidadAmbiental/calidadAguas/aguasConsumoHumano/publicaciones/docs/2023_INFORME_ANUAL_AGUAS_DE_CONSUMO.pdf
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Caselles, V. & Gómez, I. (2018). Cambios estacionales en la distribución de tormentas de verano en las cuencas hidrográficas del Júcar y Segura. [Montávez Gómez, Juan Pedro, *et al.* (eds.)]. *El clima: aire, agua, tierra y fuego*. Madrid: Asociación Española de Climatología; Agencia Estatal de Meteorología, 469-482.
- MITECO (2018a). Incorporación del cambio climático en la evaluación preliminar del riesgo de inundación (EPRI) en el segundo ciclo de aplicación de la Directiva de Inundaciones (2007/60/ce). Metodología general. Revisión y actualización de la evaluación del riesgo de inundación (EPRI 2º ciclo). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO (2018b). Inundaciones y cambio climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid. 105 pp.

- MITECO (2019a). Guías de adaptación al riesgo de inundación: Explotaciones agrícolas y ganaderas. Ministerio para la Transición Ecológica. 116 pp.
- MITECO (2019b). Guías de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas urbanos de drenaje sostenible. Ministerio para la Transición Ecológica. 96 pp.
- MITECO (2019c). Recomendaciones para la construcción y rehabilitación de edificaciones en zonas inundables. Ministerio para la Transición Ecológica. 74 pp.
- MITECO (2020). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO (2021a). Informe de seguimiento de Planes Hidrológicos y Recursos Hídricos en España. Año 2021.
- MITECO (2021b). Caracterización de la nieve en España y su incidencia en las inundaciones. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico Dirección General del Agua Secretaría de Estado de Medio Ambiente.
- MITECO (2021c). Resumen ejecutivo de la caracterización de la peligrosidad y riesgo por inundación fluvial en los PGRI de 2º ciclo en las cuencas intercomunitarias (2022-2027). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO (2023). Plan de acción de aguas subterráneas 2023-2030. Dirección General del Agua, Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO (2024). Informe CLIVAR SPAIN sobre el clima en España. Catálogo de publicaciones del Ministerio. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITERD (2018). Síntesis de los planes hidrológicos españoles. Segundo ciclo de la DMA (2015-2021). Ministerio para la Transición Ecológica (MITERD).
- MITERD (2022). Orientaciones Estratégicas sobre Agua y Cambio Climático. Dirección General del Agua. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD).
- Moncloa (2025). Información en tiempo real sobre víctimas y desaparecidos. Info DANA. Actualización de datos del Gobierno de España. Disponible en: https://www.lamoncloa.gob.es/info-dana/Paginas/2025/250125-datos-seguimiento-actuaciones-gobierno.aspx
- Molinié, G., Déqué, M., Coppola, E., Blanchet, J. & Neppel, L. (2016). Heavy precipitation in the Mediterranean basin. The Mediterranean region under climate change. Chapter 1., Subchapter 1.3.1. pp. 107-114.
- Motta, C., Naumann, G., Gomez, D., Formetta, G. & Feyen, L. (2025). Assessing the economic impact of droughts in Europe in a changing climate: A multi-sectoral analysis at regional scale. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 59, 102296.
- Musie, W., Gonfa, G. (2023). Fresh water resource, scarcity, water salinity challenges and possible remedies: A review. *Heliyon*; 9(8):e18685.
- Nieto-López, J. M., Barberá, J. A., Andreo, B., Ramírez-González, J. M., & Rendón-Martos, M. (2020). Hydro-environmental changes assessment after Guadalhorce River mouth channelization. An example of hydromodification in southern Spain. *Catena*, *189*, 104461.

- Noguera, I., Domínguez-Castro, F., Vicente-Serrano, S.M. & Reig, F. (2023). Near-real time flash drought monitoring system and dataset for Spain, *Data Brief*, Volume 47,2023, 108908, ISSN 2352-3409.
- OECC (2020). PIMA Adapta. Conocimiento y acción frente a los riesgos derivados del cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- OECC (2022). Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Guía Resumida del Sexto Informe de Evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo II. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. Basado en materiales contenidos en el IPCC AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- Oliva, A. & Olcina, J. (2024). Floods and Structural Anthropogenic Barriers (Roads and Waterworks) Affecting the Natural Flow of Waters: Hydraulic Modelling and Proposals for the Final Section of the River Segura (Spain). *GeoHazards,* 5(4), 1220-1246.
- Ollero, A. (2010). Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain, *Geomorphology*, 117, 3–4, 247-260, ISSN 0169-555X.
- Orimoloye, I.R. (2022). Agricultural Drought and Its Potential Impacts: Enabling Decision-Support for Food Security in Vulnerable Regions. *Front. Sustain. Food Syst*. 6:838824.
- Paniagua, A. (2001). Agri-environmental policy in Spain. The agenda of socio-political developments at the national, regional and local levels*, J. Rural Stud*., 17 (1), 81-97, ISSN 0743-0167,
- Parasiewicz, P., King, E.L., Webb, J.A., Piniewski, M., Comoglio, C., Wolter, C., Buijse, A. D., Bjerklie, D., Vezza, P., Melcher, A. & Suska, K. (2019). The role of floods and droughts on riverine ecosystems under a changing climate. *Fish. Manag. Ecol.,* 26. 10.1111/fme.12388.
- Paredes, I., Ramírez, F., Aragonés, D., Bravo, M.A., Forero, M.G. & Green A.J. (2021). Ongoing anthropogenic eutrophication of the catchment area threatens the Doñana World Heritage Site (South-west Spain). *Wetlands Ecol. Manage.* 29, 41–65.
- Pei, W., Su, Y., Fu, Q., Ren, Y. & Li, T. (2025). Study on the driving factors of spring agricultural drought in Northeast China from the perspective of atmosphere and snow cover, *Agri. Water Manag*., 317, 109620, ISSN 0378-3774,
- Peña-Angulo, D., Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F., Murphy, C., Reig, F., Tramblay, Y., Trigo, R.M., Luna, M.Y., Turco, M. & Noguera, I. (2020). Long-term precipitation in Southwesterm Europe reveals no clear trend attributable to anthropogenic forcing. *Environ. Res. Lett.* 15, 094070.
- Pérez Cueva, A. (1983). La sequía de 1978-1982, ¿excepcionalidad o inadaptación? Agricultura y Sociedad, 27, pp. 225-245.
- Pérez-Frías, P. (2018). Lazos olvidados de solidaridad hispanoamericana: La ayuda a Málaga por la «riá» de 1907. *Transatlantic Studies Network: Revista de Estudios Internacionales*, Vol. 3, Nº 6.
- Pérez-Martín, M. Á. (2023). Understanding Nutrient Loads from Catchment and Eutrophication in a Salt Lagoon: The Mar Menor Case. *Water*, 15(20), 3569.
- Pérez-Palazón, M. J., Pimentel, R., Herrero, J., Aguilar, C., Perales, J. M. & Polo, M. J. (2015). Extreme values of snow-related variables in Mediterranean regions: trends and long-term forecasting in Sierra Nevada (Spain), *Proc. IAHS*, 369, 157–162.

- Pérez-Palazón, M.J.; Pimentel, R. & Polo, M.J. (2018). Climate Trends Impact on the Snowfall Regime in Mediterranean Mountain Areas: Future Scenario Assessment in Sierra Nevada (Spain). *Water*, 10, 720.
- Pérez-Pérez, L. & Barreiro-Harré, J. (2009). Assessing the socio-economic impacts of drought in the Ebro river basin. *Span. J. Agric. Res. (SJAR)*, 7(2), 269-280.
- Pérez, F., J. Maudos, F. J. Goerlich, E. Reig, P. Chorén, J.C. Robledo, C. Albert, H. García & G. Bravo (2025). Alcance económico de la Dana del 29 de octubre en la provincia de Valencia. València: Generalitat Valenciana: Ivie. Disponible en: https://www.ivie.es/es_ES/ptproyecto/ivielab-alcance-economico-de-la-dana-del-29-de-octubre-en-la-provincia-de-valencia/
- Pescaroli, G. & Alexander, D. (2016). Critical infrastructure, panarchies and the vulnerability paths of cascading disasters. *Nat. Hazards,* 82, 175–192.
- Pinero-Rodríguez, M.J., Fernández-Zamudio, R., Arribas, R., Gómez-Mestre, I. & Díaz-Paniagua, C. (2021). The invasive aquatic fern *Azolla filiculoides* negatively impacts water quality, aquatic vegetation and amphibian larvae in Mediterranean environments. *Biol. Invasions* 23, 755–769.
- Ploskey, G.R. (1982). Fluctuating water levels in reservoirs; an annotated bibliography on environmental effects and management for fisheries. In: *Technical Report E-82-5. U. S.* Fish and Wildlife Service and U.S. Department of the Interior, Fayetteville, Ark.
- Polo, M. J., Aguilar, C., Millares, A., Herrero, J., Gómez-Beas, R., Contreras, E. & Losada, M. A. (2014) Assessing risks for integrated water resource management: coping with uncertainty and the human factor, *Proc. IAHS*, 364, 285–291.
- Pulido-Velázquez, D., Collados-Lara, A.J. & Alcalá, F.J. (2018). Assessing impacts of future potential climate change scenarios on aquifer recharge in continental Spain. *J. Hydrol.*, 567, 803-819.
- PwC (2025). Las amenazas físicas del cambio climático y su impacto social en España. Visibilizando los efectos en el bienestar y la calidad de vida. Fundación PwC, Cruz Roja, Fundación Naturgy. Disponible en: https://www.pwc.es/es/fundacion/assets/informe-cambio-climatico-espana.pdf
- Ranasinghe, R., Ruane, A.C., Vautard, R., Arnell, N., Coppola, E., Cruz, F.A., Dessai, S., Islam, A.S., Rahimi, M., Ruiz Carrascal, D., Sillmann, J., Sylla, M.B., Tebaldi, C., Wang, W. & Zaaboul, R. (2021). Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1767–1926.
- Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., Mach, K.J., Mintenbeck, K., O'Neill, B., Pathak, M., Pedace, R., Pörtner, H.-O., Poloczanska, E., Rojas Corradi, M., Sillmann, J., Aalst, M. van, Viner, D., Jones, R., Ruane, A.C. & Ranasinghe, R. (2020). The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland.
- Rigotti, J.A., Carvalho, J.M., Soares, L.M.V., Barbosa, C.C., Pereira, A.R., Duarte, B.P.S., Mannich, M., Koide, S., Bleninger, T., Martins, J.R.S. (2023). Effects of Hydrological Drought Periods on Thermal Stability of Brazilian Reservoirs. *Water*, *15*, 2877.

- Rodriguez, J.V. (2023). El Colegio de Economistas apremia a adaptar los cultivos de Málaga los recursos hídricos disponibles. *La Opinión de Málaga.* Disponible en https://www.laopiniondemalaga.es/malaga/2023/10/04/colegio-economistas-apremian-adaptar-cultivos-malaga-recursos-hidricos-92905965.html
- Rojas, R., Feyen, L., Bianchi, A. & Dosio, A. (2012). Assessment of future flood hazard in Europe using a large ensemble of bias-corrected regional climate simulations. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 117 (D17).
- Roudier, P., Andersson, J.C.M., Donnelly, C., Feyen, L., Greuell, W. & Ludwig, F. (2016). Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2 °C global warming. *Clim. Change* 135, 341–355.
- Rouhani, A., Ben-Salem, N., D'Oria, M., Chávez García Silva, R., Viglione, A., Copty, N.K., Rode, M., Barry, D.A., Gómez-Hernández, J.J. & Jomaa, S. (2025). Direct impact of climate change on groundwater levels in the Iberian Peninsula, *Sci. Total Environ.,* 970, 179009, ISSN 0048-9697.
- Ruane, A. C., Vautard, R., Ranasinghe, R., Sillmann, J., Coppola, E., Arnell, N., Cruz, F.A., Dessai, S., Iles, C.E., Islam, A.K.M.S., Jones, R.G., Rahimi, M., Ruiz, D., Seneviratne, S.I., Servonnat, J., Sörensson, A.A., Sylla, M.B., Tebaldi, C., Wang, W. & Zaaboul, R. (2022). The climatic impact–driver framework for assessment of risk–relevant climate information. *Earth's Future*, 10(11), 002803.
- Rubio-Martin, A., Llario, F., Garcia-Prats, A., Macian-Sorribes, H., Macian, J. & Pulido-Velazquez, M. (2023). Climate services for water utilities: Lessons learnt from the case of the urban water supply to Valencia, Spain. *Clim. Serv.*, *29*, 100338.
- Sánchez-Almodóvar, E., Olcina-Cantos, J. & Martí-Talavera, J. (2022). Adaptation Strategies for Flooding Risk from Rainfall Events in Southeast Spain: Case Studies from the Bajo Segura, Alicante. *Water*, 14, 146.
- Sánchez-García, C. & Schulte, L. (2023). Historical floods in the southeastern Iberian Peninsula since the 16th century: Trends and regional analysis of extreme flood events, *Glob. Planet. Change*, Volume 231, 104317, ISSN 0921-8181.
- Sánchez, C.A., Prieto del Campo, F. & Estévez, R. (2023). Smart water management in Europe: lessons from Spain - Frugality, adaptation, mitigation and resilience. *IDDRI publications*, blog post December 18th, 2023.
- Sanz, M.J. & Galán, E. (editoras) (2020). Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Senent-Aparicio, J., López-Ballesteros, A., Jimeno-Sáez, P. & Pérez-Sánchez, J. (2023). Recent precipitation trends in Peninsular Spain and implications for water infrastructure design, *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 45, 101308, ISSN 2214-5818.
- Serrano, A. Cazcarro, I., Martín-Retortillo, M., Rodríguez-López, G. (2024). Europe's orchard: The role of irrigation on the Spanish agricultural production, *J. Rural Stud.*, Volume 110, 103376, ISSN 0743-0167.
- Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M.´A., Longares, L.A. & de Luis, M. (2017). SPREAD: a high-resolution daily gridded precipitation dataset for Spain – an extreme events frequency and intensity overview. *Earth Syst. Sci. Data* 9, 721–738.
- Scheidt, K.T., Pimentel, R., Premier, V., Marin, C., Polo, M.J. & Notarnicola, C. (2024). Improving the estimation of evaposublimation from seasonal snow in the Mediterranean mountains of Sierra Nevada (Spain). *SnowHydro 2024,* Grenoble 30/01/2024–02/02/2024.

- Schwalm, C., Anderegg, W., Michalak, A., Fisher, J.B., Biondi, F., Koch, G., Litvak, M., Ogle, K., Shaw, J.D., Wolf, A., Huntzinger, D.N., Schaefer, K., Cook, R., Wei, Y., Fang, Y., Hayes, D., Huang, M., Jain, A. & Tian, H. (2017). Global patterns of drought recovery. *Nature,* 548, 202–205.
- Shrestha, B.B., Perera, E.D.P., Kudo, S., Miyamoto, M., Yamazaki, Y., Kuribayashi, D., Sawano, H., Samaya, T., Magome, J., Hasegawa, A., Ushiyama, T., Iwami, Y & Tokunaga. Y. (2019). Assessing flood disaster impacts in agriculture under climate change in the river basins of Southeast Asia. *Nat Hazards* 97, 157–192.
- Sinharoy, A., Kim, S. H., & Chung, C. M. (2025). Effect of variation in temperature on malodor generation from different units of a wastewater treatment plant. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, *32*(13), 8035-8052.
- Scott, D., Hall, C.M., Rushton, B. & Gössling, S. (2023). A review of the IPCC Sixth Assessment and implications for tourism development and sectorial climate action. *J. Sustain. Tour.*, 32(9), 1725-1742.
- Schmidt, G., Martínez, J., Hernández-Mora, N., De Stefano, L., García Bautista, A. & Sánchez, L. (2022). La protección de las fuentes del abastecimiento doméstico del agua en España. Retos y propuestas a partir de casos de estudio de pequeñas poblaciones. *Fundación Nueva Cultura del Agua*.
- Si, F., T, Huang, Li, N., Li, K., Wen, G., Li, Y. & Zhang, H. (2022). Effects of flood discharge on the water quality of a drinking water reservoir in China – Characteristics and management strategies*, J. Environ. Manage.,* 314,2022, 115072, ISSN 0301-4797.
- Soares, P.M.M., Careto, J.A.M., Russo, A. Lima, D. C.A. (2023). The future of Iberian droughts: a deeper analysis based on multi-scenario and a multi-model ensemble approach. *Nat. Hazards* 117, 2001–2028.
- Solaun, K. & Cerdá, E. (2019). Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections*, Renew. Sustain. Energy Rev.*,116, 109415, ISSN 1364-0321.
- Soto-Navarro, J., Jordá, G., Amores, A. *et al.* (2020). Evolution of Mediterranean Sea water properties under climate change scenarios in the Med-CORDEX ensemble. *Clim. Dyn.*, 54, 2135-2165.
- Stahl, K. & Demuth, S. (1999). Linking streamflow drought to the occurrence of atmospheric circulation patterns. *Hydrol. Sci. J.,* 44, 467–482.
- Stamou, A. I., Mitsopoulos, G., Sfetsos, A., Stamou, A. T., Sideris, S., Varotsos, K. V., Giannakopoulos, C., & Koutroulis, A. (2025). Vulnerability Assessment of Dams and Reservoirs to Climate Change in the Mediterranean Region: The Case of the Almopeos Dam in Northern Greece. *Water*, 17(9), 1289.
- Stanchi, S., Zecca, O., Hudek, C., Pintaldi, E., Viglietti, D., D'Amico, M.E., Colombo, N., Goslino, D., Letey, M. & Freppaz, M. (2021). Effect of Soil Management on Erosion in Mountain Vineyards (N-W Italy). *Sustain.*, 13(4), 1991.
- Thober, S., Kumar, R., Wanders, N., Marx, A., Pan, M., Rakovec, O., Samaniego, L., Sheffield, J., Wood, E.F. & Zink, M. (2018). Multi-model ensemble projections of European river floods and high flows at 1.5, 2, and 3 degrees global warming. *Environ. Res. Letters*, 13(1), 014003.
- Torrelló-Sentelles, H. & Franzke, C.L.E. (2022). Drought impact links to meteorological drought indicators and predictability in Spain. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 1821-1844.
- Tramblay Y., Mimeau L., Neppel L., Vinet F. & Sauquet E. (2019). Detection and attribution of flood trends in Mediterranean basins. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23, 4419–4431.
- Tramblay, Y., Koutroulis, A., Samaniego, L., Vicente-Serrano, S. M., Volaire, F., Boone, A., ... & Polcher, J. (2020). Challenges for drought assessment in the Mediterranean region under future climate scenarios. *Earth-Sci. Rev.*, *210*, 103348.

- Tristán, R.M. (2024). El IGME alerta del preocupante estado del 44 % de los acuíferos en España. *IGME CSIC Comunicación*, Fecha de publicación, 5 Junio, 2024, Disponible en: https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/el-igme-alerta-del-preocupante-estado-del-44-de-los-acuiferos-de-espana.
- UNDRR (2022). Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Disponible en: https://www.undrr.org/publication/technical-guidance-comprehensive-risk-assessment-and-planning-context-climate-change
- Valdes-Abellan, J., Pardo, M.A., Tenza-Abril, A.J. (2017). Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. *Int. J. Climatol*., 37, 1285-1296.
- Valdes-Abellan, J., Pardo, M.A., Jodar-Abellan, A., Pla, C. & Fernandez-Mejuto, M. (2020). Climate change impact on karstic aquifer hydrodynamics in southern Europe semi-arid region using the KAGIS model. *Sci. Total Environ*., 723, 138110.
- Valle-García, A., Montilla-López, N.M., Parrado, R., Berbel, J., Martínez-Dalmau, J., Kahil, T. & Gutiérrez-Martín, C. (2025). Integrated assessment of resilience to drought by coupling hydro-economic and macroeconomic models, *J. Hydrol*., 661, Part A, 133549, ISSN 0022-1694.
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2: 359-392.
- Vargas-Amelin, E. & Pindado, P. (2014). The challenge of climate change in Spain: Water resources, agriculture and land. *J. Hydrol.,* 518, Part B, 243-249,
- Vargas, J. & Paneque, P. (2019). Challenges for the Integration of Water Resources and Drought-Risk Management in Spain. *Sustain.*, 11(2), 308.
- Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Revuelto, J., López-Moreno, J.I. & Espejo, F. (2014). Temporal evolution of surface humidity in Spain: recent trends and possible physical mechanisms. *Clim. Dyn.*, 42, 2655–2674.
- Vicente-Serrano, S.M., Zabalza-Martínez, J., Borràs, G., López-Moreno, J.I., Pla, E., Pascual, D., Savé, R., Biel, C., Funes, I., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Martín-Hernández, N., Peña-Gallardo, M., Alonso-González, E., Tomas-Burguera, M. & El Kenawy, A. (2017). Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain, *J. Hydrol. Reg*., 12, Pages 13-32, ISSN 2214-5818.
- Vicente-Serrano, S.M., Peña-Angulo, D., Murphy, C., López-Moreno, J.I., Tomas-Burguera, M., Domínguez-Castro, F., Tian, F., Eklundh, L., Cai, Z., Alvarez-Farizo, B., Noguera, I., Camarero, J.J., Sánchez-Salguero, R., Gazol, A., Grainger, S., Conradt, T., Boincean, B. & El Kenawy, A. (2021). The complex Multi-sectoral impacts of drought: Evidence from a mountainous basin in the Central Spanish Pyrenees. *Sci. Total Environ.*, 769 (144702).
- Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F., Reig, F., Beguería, S., Tomas-Burguera, M., Latorre, B., Peña-Angulo, Noguera, I., Rabanaque, I., Luna, Y., Morata, A. & El Kenawy, A. (2022). A near real-time drought monitoring system for Spain using automatic weather station network. *Atmos. Res.*, 271 (106095).
- Vila-Traver, J., Aguilera, E., Infante-Amate, J. & González de Molina, M. (2021). Climate change and industrialization as a main drivers of Spanish agriculture water stress. *Sci. Total Environ.*, 760, 143399.
- Villegas, P., Cardenete, M.A. & Beltran, L.D. (2024). Economic Impact of the Drought in Spain: Measurement for the Adoption of Measures. *Water Econ. Policy*, 10, Issue 3, p1.

- Wang, M., Bodirsky, B.L., Rijneveld, R., Beier, F., Bak, M.P., Batool, M., Droppers, B., Popp, A., van Vliet, M.T.H. & Strokal, M. (2024). A triple increase in global river basins with water scarcity due to future pollution. *Nat Commun,* 15, 880.
- Ward, P. J., Jongman, B., Aerts, J. C. J. H., Bates, P.D., Botzen, W.J.W., Diaz, A., Hallegatte, S., Kind, J.M., Scussolini, P. & Winsemius, H.C. (2017). A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. *Nat. Clim. Change* 7: 642–46.
- Weerasooriya, R.R., Liyanage, L.P.K., Rathnappriya, R.H.K., Bandara, W.B.M.A., Perera, T.A.N.T., Gunarathna, J.P. & Jayasinghe, G.Y. (2021). Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals: a review. *Environ. Dev. Sustain.* 23, 12661–12709.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water Int.*, 10(3), 111–120.
- Woolway, R. I., Sharma, S. & Smol, J.P. (2022). Lakes in hot water: the impacts of a changing climate on aquatic ecosystems. *Bioscience* 72.11, 1050-1061.
- WWA (2024). Extreme downpours increasing in southeastern Spain as fossil fuel emissions heat the climate. [Online]. Disponible en: https://www.worldweatherattribution.org/extreme-downpours-increasing-in-southern-spain-as-fossil-fuel-emissions-heat-the-climate/ [Accedido el 11 diciembre 2024]
- WWF (2023). High cost of cheap water: The true value of water and freshwater ecosystems to people and planet. *World Wide Fund for Nature,* Gland, Switzerland. Disponible en: https:www.wwf.org.
- Zarza, L.F. (2024). Las fugas en las redes de agua en España: una crisis invisible. *Redacción iagua*, Disponible en: https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/fugas-redes-agua-espana-crisis-invisible.
- Zittis, G., Bruggeman, A. & Lelieveld, J. (2021). Re visiting future extreme precipitation trends in the Mediterranean. *Weather Clim. Extrem.*, 34, 100380.

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Patrimonio natural

biodiversidad y áreas protegidas

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autoras: María José Sanz (BC3), Camino Fernández de la Hoz (IH Cantabria)

Contribuyentes: Samuel Sainz Villegas (IH Cantabria)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Sanz, M.J. y de la Hoz, C. F. (2025) Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 398

2. Introducción / pág. 400

3. Riesgos relevantes / pág. 403

4. Riesgos clave del sector del patrimonio natural, la biodiversidad y las áreas protegidas / pág. 416

4.1. RC3.1. Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles / pág. 417

4.2. RC3.2: Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.) / pág. 429

4.3. RC3.3: Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas / pág. 441

4.4. RC3.4: Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a los cambios en las variables climáticas / pág. 452

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 466

6. Caso de estudio / pág. 471

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 473

8. Referencias / pág. 477

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas de la Evaluación Nacional de Riesgos e Impactos del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes" del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p.ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave" sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una introducción que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se

expone el marco conceptual de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el apartado de limitaciones y particularidades metodológicas recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la bibliografía reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

El patrimonio natural de España incluye una extraordinaria diversidad biológica, geológica y paisajística, que sustenta una amplia gama de servicios ecosistémicos esenciales. Este capítulo analiza los riesgos que el cambio climático plantea sobre la biodiversidad en su sentido más amplio (genética, de especies y de los ecosistemas), las áreas protegidas y el patrimonio geológico, y los servicios ecosistémicos que éstos sustentan.

España es reconocida como uno de los países con mayor biodiversidad de Europa, albergando una gran variedad de hábitats y especies únicas debido a su posición geográfica, diversidad climática y geológica. Según el último informe del Inventario Español de Patrimonio Natural y Biodiversidad (MITECO, 2023a). Asimismo, en España existe un importante patrimonio geológico y se cuenta con diversas figuras de protección legal y administrativa que se aplican específicamente o de forma compatible con la conservación de formaciones geológicas únicas (como cuevas kársticas, acantilados, volcanes, etc.).

La base de datos EIDOS que contiene la información del Inventario Español de Especies Silvestres en constante actualización, en 2023 en España hay 63.332 especies, de las cuales: 43.024 son invertebrados; 9.004 plantas (87 % plantas vasculares y 13 % no vasculares); 6.914 hongos; 1.163 son peces, de ellas el 90 % son marinas; y 999 especies de algas. La ictiofauna fluvial presenta la mayor proporción de especies endémicas. Así mismo, España cuenta con el mayor número de plantas vasculares (entre 8.000 y 9.000 especies) de los países europeos y mediterráneos. Su índice de endemismo se sitúa entre el 20 % y el 25 %. Las regiones con mayor índice de endemismo son las zonas montañosas, las regiones costeras de la península ibérica y las zonas insulares (especialmente las Islas Canarias). Esta riqueza convierte al país en un espacio clave para la conservación de la biodiversidad y un laboratorio natural para el estudio de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas.

El patrimonio natural de España se encuentra protegido a través de una extensa red de figuras de conservación que incluye, entre otras, Parques Nacionales, Parques Naturales, Reservas de la Biosfera y Espacios protegidos Red Natura 2000, Lugares de Importancia Comunitaria (en adelante LIC) hasta su transformación en Zonas Especiales de Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) o Áreas Marinas Protegidas (AMP). Actualmente, el 36.2 % del territorio terrestre y el 21.3 % de la superficie marina están protegidas, la mayor parte integradas en la Red Natura 2000, la mayor red de espacios protegidos a nivel europeo, con el objetivo de garantizar la conservación de hábitats y especies prioritarias (MITECO, 2023a). El Inventario es-

pañol de Lugares de Interés Geológico (LIGs) gestionados por el IGME[1], que actualmente incluye 4.823 LIGs, es uno de los 30 componentes que actualmente forman parte del Inventario Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad. 266 de estas formaciones, debido a su relevancia internacional, están incluidas en el *Proyecto Global Geosites*[2], y 2.844 están comprendidos dentro de alguna figura de protección.

El marco jurídico español en materia de conservación del patrimonio natural y la biodiversidad es sólido y avanzado, con la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad como pilar fundamental., Esta ley establece los principios para la protección, el uso sostenible, la mejora y la restauración del patrimonio natural, integrando la biodiversidad en las políticas sectoriales y reconociendo su valor como bien común. No obstante, a pesar de este respaldo normativo, el sistema de protección enfrenta múltiples desafíos. El cambio climático emerge como una de las mayores amenazas, ya que genera efectos significativos en los ecosistemas, alterando la distribución de especies, los ciclos fenológicos, los regímenes hidrológicos y la conectividad ecológica.

Además de las amenazas climáticas, el patrimonio natural español enfrenta presiones antropogénicas significativas, como la expansión urbana, la fragmentación de hábitats, la contaminación y la intensificación de actividades turísticas. Según el Informe de Evaluación de Ecosistemas del Milenio en España (MEA, 2005), el abandono de prácticas tradicionales de manejo del territorio, como el pastoreo extensivo y la agricultura de bajo impacto, también ha contribuido a la degradación de ecosistemas esenciales, lo que repercute en la capacidad de estos para proporcionar servicios ecosistémicos clave, como la regulación hídrica, la biodiversidad y la captura de carbono. En recientes informes de revisión sobre degradación y restauración (IPBES, 2018), está bien establecido que la agricultura de conservación, la agroecología, la agrosilvicultura y las prácticas tradicionales son formas eficaces de utilizar y gestionar los recursos del suelo y la tierra de manera sostenible. El Panel Intergubernamental para la Biodiversidad (IPBES) en su último informe de evaluación global (IPBES, 2019) identificó como factores directos de pérdida de biodiversidad (cambio en el uso de la tierra y el mar, explotación directa, cambio climático, contaminación y especies exóticas invasoras) y múltiples factores indirectos de pérdida de biodiversidad relacionados con los valores y el comportamiento humano. En los últimos 50 años, las tendencias mundiales en una amplia gama de factores indirectos han intensificado los factores directos de la pérdida de biodiversidad y han provocado consecuencias negativas para

[1] https://info.igme.es/ielig/

[2] A finales de los años 90 del siglo XX se diseñó el Proyecto Global Geosites (Global Geosites Project), promovido por la Asociación europea para la Conservación del Patrimonio geológico (ProGEO) y la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS) con el co-patrocinio de la UNESCO.

la biodiversidad, la disponibilidad y la calidad del agua, la seguridad alimentaria y la nutrición, y la salud, además de contribuir al cambio climático (IPBES, 2022, 2024).

Por otro lado, las áreas protegidas no solo cumplen un papel crucial en la conservación de la biodiversidad, sino que también ofrecen beneficios socioeconómicos importantes, ya que generan oportunidades para el turismo, el desarrollo rural sostenible y la educación ambiental, o en algunos casos como las reservas marinas proveen de recursos pesqueros fuera de ellas. En 2022, más de 14 millones de personas visitaron los Parques Nacionales de España (EUROPARC-España, 2024), destacando el potencial de estas áreas para atraer turismo sostenible y generar empleo en comunidades locales.

Pese a los avances en la gestión y conservación, aún se requieren esfuerzos para consolidar una gobernanza efectiva e integradora que responda a las necesidades de conservación y desarrollo sostenible. La Estrategia Nacional de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración Ecológica (MITECO, 2021) destaca la necesidad de fortalecer la conectividad ecológica entre áreas protegidas y promover la restauración de hábitats degradados, con un enfoque que integre tanto el conocimiento científico como las prácticas tradicionales que han demostrado ser sostenibles de manejo del territorio.

Este capítulo aborda un análisis de los impactos y riesgos derivados del cambio climático en el patrimonio natural, la biodiversidad y las áreas protegidas de España. El análisis comprende distintos elementos del patrimonio natural como el patrimonio geológico, las especies y los ecosistemas, así como los hábitats terrestres y marinos de España y los procesos ecológicos de los que forman parte considerando las áreas protegidas como el conjunto de estos ecosistemas, sin tratarlas como un elemento independiente para evitar duplicidades.

3. Riesgos relevantes

En esta sección se hace una identificación preliminar de los principales riesgos del cambio climático sobre el patrimonio natural, la biodiversidad y las áreas protegidas. En primer lugar, se presenta el modelo conceptual utilizado para la identificación de los riesgos, basado en el análisis de sus componentes (Reisinger, 2020): peligro, exposición y vulnerabilidad. A continuación, se describe el resultado de este proceso y finalmente se incluye el listado de los riesgos relevantes identificados, a partir del cual se seleccionarán los riesgos clave.

Los riesgos relevantes para el patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas y que pueden llegar a afectar negativamente a las especies, sobre todo aquellas que desempeñan funciones estructurantes, a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, o a formaciones geológicas de especial interés.

En el Plan Estratégico Estatal del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad a 2030[3] se identifica el cambio climático entre las principales presiones y amenazas para el patrimonio natural y la biodiversidad, destacando también los cambios de uso del suelo, los incendios forestales, la sobreexplotación de recursos naturales, la desertificación y degradación de las tierras, las especies exóticas invasoras y la contaminación, así como distintas amenazas sobre el medio marino. Dada la variedad de elementos que abarca el sector, incluida la biodiversidad en todos sus niveles (genético, de especies y ecosistémico), el patrimonio geológico, las áreas protegidas, entre otros, puede afirmarse que se encuentra expuesto a múltiples **peligros,** que se ya se han indicado en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) (MITECO, 2020). Los principales para el Patrimonio Natural y su biodiversidad en el ámbito terrestre son el aumento de temperaturas, olas de calor, incremento de los incendios, lluvias intensas e inundaciones, así como los periodos de sequía y la creciente aridez. En el ámbito acuático incluyen el incremento de temperatura del agua (de Azevedo *et al.*, 2023), las olas de calor marinas (Arias-Ortiz *et al.*, 20218) y en cuerpos de agua dulce, incremento del viento y el oleaje, la acidificación del océano, la variabilidad en la disponibilidad de agua dulce, y en zonas costeras, elevación del nivel del mar. Estos cambios pueden tener un impacto más elevado en áreas de alta montaña, humedales y ecosistemas costeros, que son más sensibles a las variaciones climáticas. En el caso del patrimonio geológico se encuentra también expuesto a la intensificación de los procesos erosivos, las altas temperaturas o las muy bajas. En el marco del proyecto IVRIPARC está realizando un análisis de los peligros, fragilidad y vulnerabilidad al cambio climático de los LIG

[3] https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad/valoracion-y-aspectos-economicos-de-la-biodiversidad/cb_vae_plan_estrategico_patrimonio_nat_bio.html

de los parques nacionales de Canarias (Vegas *et al.*, 2024).

La **exposición** puede afectar a diferentes niveles en el caso de los componentes biológicos de este sector, desde las especies hasta el conjunto que conforman con el medio en ecosistemas o hábitats. Además, se ha considerado como un elemento de la exposición los servicios ecosistémicos que proveen estas especies o ecosistemas, entendido como los beneficios que las personas obtenemos de los ecosistemas, es decir, las funciones y procesos naturales que sustentan la vida humana directa o indirectamente. Estos servicios incluyen servicios de provisión, regulación, soporte y culturales (MEA, 2005). No todos los ecosistemas terrestres presentan la misma sensibilidad a la exposición a la variabilidad climática (Seddon *et al.*, 2016), por lo que entender los límites climáticos de los biomas terrestres es esencial para identificar los ecosistemas más vulnerables (Woodward *et al.*, 2004; Luna-Arnaguré *et al.*, 2025). En el caso del patrimonio geológico, la exposición a los peligros identificados puede estar condicionados por otros factores (Vandelli *et al.*, 2024), como su ubicación y geomorfología, composición (Flowers and Ehlers, 2028), uso del suelo y factores antropogénicos (accesibilidad, conservación y gestión).

En este sector la **vulnerabilidad** constituye una componente del riesgo multidimensional que está determinada por factores sociales, económicos, ambientales, físico-tecnológicos, y de gobernanza (Eklund *et al.*, 2023). La **vulnerabilidad física** se refiere a las características físicas del territorio que influyen tanto en la gestión como en la resiliencia de especies, los ecosistemas y los espacios naturales y geológicos frente al cambio climático. Por un lado, la accesibilidad de estos espacios condiciona la capacidad de monitoreo, vigilancia y respuesta ante emergencias ambientales, ya que las áreas de difícil acceso suelen contar con menos recursos y tiempos de reacción más lentos. Finalmente, la existencia de barreras físicas, ya sean naturales (como montañas o ríos) o artificiales (como carreteras o construcciones), puede limitar la conectividad ecológica y dificultar el desplazamiento de especies, limitando así su capacidad para adaptarse al cambio climático. En línea con esto, la presencia de infraestructuras como estaciones de monitoreo, puntos de control y refugios para la fauna aumenta la resiliencia del ecosistema, mientras que su ausencia aumenta la vulnerabilidad.

La **vulnerabilidad económica** es la asociada a la inversión disponible para la protección, conservación y restauración del patrimonio natural en su conjunto. En el caso de los ecosistemas, también contempla la vulnerabilidad derivada de la dependencia económica de la sociedad respecto a los servicios ecosistémicos. La disponibilidad de recursos financieros contribuye a mejorar el conocimiento, fortalecer las capacidades de gestión y reducir la vulnerabilidad de los distintos elementos del patrimonio natural frente a perturbaciones climáticas. Además, permite mantener o restaurar la funcionalidad de aquellos ecosistemas que requieren intervenciones específicas para

su conservación o mejora. Por otra parte, sectores como el ecoturismo, la pesca o la agricultura dependen directamente de la salud de los ecosistemas. La degradación ambiental puede traducirse en una pérdida de productividad, una disminución del valor de la tierra y de los recursos naturales, y una reducción de los ingresos para las comunidades locales. Finalmente, deben tenerse en cuenta los costes asociados a la recuperación de ecosistemas afectados por el cambio climático, que pueden implicar inversiones significativas y sostenidas en el tiempo.

La **vulnerabilidad ambiental** se asocia al estado de conservación y la integridad ecológica de los distintos componentes del patrimonio natural, incluyendo ecosistemas, especies, hábitats, elementos geológicos y áreas protegidas. Los elementos ya degradados, fragmentados o sometidos a presiones antrópicas intensas presentan una menor capacidad de adaptación y recuperación frente a los impactos del cambio climático. En particular, los ecosistemas o sistemas físicos ya degradados son más susceptibles a fenómenos como sequías, incendios o inundaciones, y su capacidad para mantener la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, estructurales y estéticos (p. Ej., las formaciones geológicas singulares) se ve comprometida. Adicionalmente, se ha constatado en los últimos años como un elemento de vulnerabilidad la presencia de especies invasoras o de plagas y enfermedades, cuya expansión se ve favorecida en ocasiones por los cambios en las condiciones ambientales. Finalmente, la degradación de la calidad del suelo y del agua afecta directamente a la funcionalidad de los ecosistemas y a la resiliencia de las especies que dependen de ellos. Esta dimensión también debe considerar la pérdida de conectividad ecológica, la presión sobre especies amenazadas y la fragilidad de ciertos hábitats clave, especialmente en áreas protegidas con recursos limitados para su gestión.

La **gobernanza** se refiere a la eficacia del marco normativo y la capacidad institucional para garantizar la protección del patrimonio natural y la biodiversidad. Una gobernanza efectiva requiere la cooperación entre múltiples niveles (local, regional, nacional, europea e internacional). La exclusión de comunidades locales y actores clave en los procesos de toma de decisiones puede aumentar la vulnerabilidad, mientras que su participación activa mejora la legitimidad, el cumplimiento y la efectividad de las políticas de adaptación y conservación.

Y finalmente, la componente de vulnerabilidad **social** es la combinación de factores sociales, económicos, culturales y políticos que aumentan o disminuyen la capacidad de una población para enfrentar, resistir y recuperarse de fenómenos climáticos extremos o graduales. El acceso desigual a recursos naturales y servicios ecosistémicos puede agravar la exposición de ciertas comunidades, especialmente aquellas que dependen directamente de los espacios naturales para su subsistencia. A nivel social resulta también relevante el nivel de conocimiento sobre la importancia de los ecosistemas y la biodiversidad, su relación histórica o ancestral con estos territorios, y la conciencia sobre los impactos del cambio climático y la necesidad de adaptación.

Al mismo tiempo, **otros factores de riesgo subyacentes agravan la exposición y vulnerabilidad,** que presenta el sector ante los peligros previamente descritos. Éstos factores se agrupan en riesgos de mercado, tecnológicos y gobernanza. Las políticas de uso del suelo inadecuadas, falta de coordinación institucional o insuficiente aplicación de medidas de conservación de protección, si bien pueden considerarse parte de la vulnerabilidad de gobernanza frente al riesgo climático, también constituyen un factor subyacente estructural cuya evolución puede modular significativamente la exposición y la capacidad de respuesta ante riesgos climáticos. La presión de sectores, energético, agrícola o turístico, que podrían expandirse hacia áreas cercanas a las espacios protegidos y ecosistemas naturales, comprometiendo su integridad. Estos riesgos incluyen también la degradación de ecosistemas causada por diversas actividades económicas. La sobreexplotación de recursos naturales, como la extracción intensiva de agua subterránea, y la contaminación difusa del suelo y del agua, procedente de prácticas agrícolas intensivas (por ejemplo, por nitratos), pueden provocar impactos significativos no solo en los propios ecosistemas agrarios, sino también en otros ecosistemas vulnerables, como los humedales. La expansión de infraestructuras, el crecimiento urbano, o la intensificación agrícola, que pueden provocar la fragmentación o degradación de hábitats. También deben considerarse sucesos poco probables, pero de gran impacto, como plagas y enfermedades que afecten a especies clave, mega incendios, y eventos climáticos sin precedentes, entre otros.

El modelo conceptual utilizado para la identificación de los riesgos relevantes del cambio climático sobre el Patrimonio Natural, la Biodiversidad y las áreas Protegidas se presenta en la **Figura 1**. En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector. A partir de la revisión de la literatura, se han identificado once riesgos relevantes que se enumeran en la **Tabla 1**, y se describen a continuación.

RR3.1. Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.

Este riesgo se refiere a disminución acelerada y, en muchos casos, irreversible de especies y recursos genéticos a nivel mundial, provocada por la interacción acumulativa de múltiples factores entre los que los impactos del cambio climático aparecen como factor predominante (Isbell *et al.*, 2023). Los peligros climáticos impulsores de este riesgo incluyen el aumento de temperaturas, la alteración de los patrones de precipitación, el deshielo de glaciares, el incremento del nivel del mar, la acidificación de los océanos y la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos. El cambio climático ha sido un factor determinante en al menos tres de las cinco extinciones masivas anteriores (Harnik *et al.*, 2012), y sigue jugando un papel relevante, aunque no tan decisivo como otros factores tales como la agricultura o la deforestación, en la actualidad

(Munstermann *et al.*, 2022). Pero puede actuar sinérgicamente con otros factores de extinción para acelerar las amenazas existentes (Brook *et al.*, 2008). Y aunque el cambio climático ocupa actualmente un lugar secundario en cuanto al número total de especies directamente amenazadas por él, es probable que sus efectos perjudiciales se intensifiquen debido al aumento del cambio climático y a las interacciones con otras amenazas actuales (Munstermann *et al.*, 2022).

El cambio climático y la pérdida de biodiversidad están íntimamente relacionados, incluso se prevé que el cambio climático podría superar al cambio en el uso del suelo como principal factor impulsor (Dasgupta, 2024). El riesgo de extinción de especies aumenta con el calentamiento en todas las proyecciones de cambio climático para las especies autóctonas estudiadas en puntos críticos, siendo aproximadamente 10 veces mayor para las especies endémicas entre 1,5 °C y 3 °C por encima de los niveles preindustriales (IPCC, 2022). Los efectos del cambio climático en la biodiversidad global se ven agravados por otros impactos antropogénicos. Entre ellos se incluyen la pérdida y fragmentación del hábitat, la caza, la pesca y sus capturas accidentales, la sobreexplotación, la extracción de agua, el enriquecimiento de nutrientes, la contaminación y la introducción por parte del ser humano de especies invasoras, plagas y enfermedades. Recientes estimaciones globales pronostican provisionalmente la extinción relacionada con el clima de entre el 14 % y el 32 % de las especies macroscópicas en los próximos ~50 años, lo que podría incluir entre 3 y 6 millones (o más) de especies animales y vegetales, incluso en escenarios de cambio climático intermedios (Wiens, 2024).

RR3.2. Riesgo de erosión, alteración y pérdida de formaciones geológicas únicas debido a distintas amenazas climáticas.

Este riesgo se refiere a la degradación progresiva o incluso desaparición de paisajes, estructuras rocosas, cavernas, glaciares fósiles y otros elementos geológicos de alto valor científico, cultural y natural., Estructuras de gran valor, no sólo intrínseco, sino por los hábitats que ofrecen a determinadas especies. (Hjort, *et al.*, 2015). Estos procesos son intensificados por los peligros derivados del cambio climático, como el aumento de temperaturas, la variabilidad en las precipitaciones, el deshielo acelerado, el incremento del nivel del mar y la mayor frecuencia de eventos extremos (tormentas, inundaciones, huracanes). Según el Informe Anual 2023 sobre el estado del Patrimonio Natural y Biodiversidad en España (MITECO 2023a) un 14 % de los LIGs están ya alterados, degradados o fuertemente degradados. En los últimos 25 años se ha producido un incremento de la literatura sobre el riesgo de degradación de estas formaciones (Vandelli *et al.*, 2024) en los que se consideran factores intrínsecos (fragilidad) y extrínsecos. Según la revisión de Vandelli *et al.*,(2024), el cambio climático emerge como factor crítico, aunque relativamente poco explorado, en la conservación del patrimonio geológico que puede intensificar la degradación del patrimonio geológico, por ejemplo, acelerando la

erosión, la meteorización y otros procesos, especialmente en regiones que pueden enfrentarse a una mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, cambios en los patrones de precipitación y aumento de las temperaturas.

RR3.3. Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.).

Este riesgo se refiere a la disminución significativa de poblaciones de especies acuáticas y a la posible extinción local de organismos en ríos, lagos, humedales, estuarios y ambientes marinos, como consecuencia directa de las alteraciones en variables climáticas fundamentales. Cambios en los patrones de precipitación, el aumento de la temperatura del agua, la reducción de caudales, la acidificación de océanos y la mayor frecuencia de fenómenos extremos afectan la disponibilidad de oxígeno, la calidad del hábitat y las cadenas tróficas acuáticas, generando un fuerte desequilibrio ecológico que puede llevar a declives importantes incluso extinciones locales. En ecosistemas marinos, un notable aumento en la extinción de moluscos y corales, y los informes que atribuyen la contaminación y el cambio climático como posibles factores específicos de extinción en diversas localizaciones (Nikolaou *et al.*, 2023). La mayoría de las extinciones atribuidas al cambio climático en las regiones templadas se han registrado en el mar Mediterráneo ya que el calentamiento global y las olas de calor marinas son más intensas y frecuentes en esta cuenca (Pisano *et al.,* 2020; Garrabou *et al.,* 2022).

RR3.4. Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas terrestres debido a las alteraciones en las variables climáticas.

Este riesgo se refiere a la reducción drástica de individuos y la desaparición de una especie en un área geográfica definida, en contraste con la extinción global, en la que la especie desaparece por completo. Este riesgo puede estar ocasionado por las alteraciones en variables climáticas como la temperatura, la humedad del suelo, la disponibilidad de agua y la frecuencia de fenómenos extremos. La fragmentación del hábitat, la sobreexplotación, la contaminación ambiental y la introducción de especies no autóctonas a menudo incrementan el riesgo cuando se dan junto con estas alteraciones. Cuando el nicho climático actual de la especie ya no se da dentro de su área de distribución geográfica actual las posibles respuestas de la especie incluyen las siguientes: que la especie cambie para incorporar estas nuevas condiciones climáticas (por ejemplo, mediante cambios plásticos), dispersarse para seguir las condiciones climáticas originales en el espacio (por ejemplo, desplazándose a latitudes o altitudes más elevadas), y extinguirse (Holt, 1990; Moritz & Agudo, 2013). Los estudios de Wiens (2016) sugieren que incluso los modestos cambios climáticos que se han producido hasta hace una década son suficientes para provocar la extinción de

las poblaciones locales de muchas especies; que las poblaciones locales de muchas especies no pueden cambiar sus nichos climáticos con la rapidez suficiente para evitar la extinción en sus nichos actuales; y que las extinciones locales son más comunes en los animales que en las plantas, que son relativamente comunes en insectos, reptiles (Holzmann *et al.*, 2023) y anfibios. Algunas proyecciones sugieren que la Tierra podría perder hasta un tercio (o más) de sus especies debido al cambio climático en las próximas décadas (Bellard *et al.*, 2012; Román-Palacios & Wiens, 2020).

RR3.5. Riesgo sobre la estabilidad de los ecosistemas marinos (estructura y funcionamiento) y pérdida de especies asociadas por aumento de olas de calor marinas, aumento de temperatura del agua y acidificación.

Este riesgo se refiere a la alteración profunda en la estructura, dinámica y resiliencia de los ecosistemas marinos, ocasionada por el incremento de olas de calor marinas, el aumento sostenido de la temperatura del agua y la acidificación de los océanos. Estos factores generan un estrés fisiológico en múltiples especies, afectan procesos ecológicos fundamentales (producción primaria, ciclos de nutrientes, redes tróficas) y ponen en peligro la permanencia de comunidades marinas enteras. La consecuencia más crítica es la pérdida de especies asociadas, incluyendo organismos clave como corales, moluscos, peces y fitoplancton, que sustentan la biodiversidad y los servicios ecosistémicos marinos. Al no poder desplazarse a refugios térmicos, los bivalvos formadores de arrecifes también son muy vulnerables a las olas de calor (Harley 2008). También se ha observado una elevada mortalidad y una pérdida masiva de grandes praderas marinas tras olas de calor marino extremas, especialmente en aguas poco profundas y menos expuestas al oleaje, como en el mar Mediterráneo (Marbà & Duarte 2010). En general, esto puede dar lugar a cambios en la composición, con un aumento de la predominancia de especies de rápido crecimiento tras las olas de calor (Kendrick *et al.*, 2019). Los episodios de mortalidad de estas fanerógamas marinas también pueden reducir la diversidad genética dentro de una pradera (Chefaoui *et al.*, 2018), lo que podría reducir la capacidad de adaptación a futuros factores de estrés y cambios. También se ha pronosticado que el calentamiento aumentará la invasión de especies exóticas y la sustitución de especies nativas de marismas (Borges *et al.*, 2021).

RR3.6. Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.

Este riesgo se refiere a la alteración de los procesos ecológicos fundamentales que sostienen el equilibrio y la resiliencia de los ecosistemas. El cambio climático, mediante la modificación de variables como la temperatura, la estacionalidad, la humedad y la precipitación, provoca cambios fenológicos

(desajustes en los tiempos de floración, fructificación, reproducción, migración e hibernación). Estos desajustes pueden generar desequilibrios en la sincronía ecológica de las especies, lo que perturba interacciones clave como la polinización, las redes tróficas y los patrones reproductivos y migratorios. En ese sentido ya se ha visto que el cambio climático tiene una influencia fuerte y directa en las comunidades vegetales y su abundancia en los ecosistemas del norte, lo que sugiere la posibilidad de que se produzcan cascadas tróficas mediadas por el clima en ellas (Dong & Anderson, 2022). También se prevé que los cambios en las condiciones ambientales del océano —calentamiento, desoxigenación y acidificación— afecten a las funciones fisiológicas de los organismos marinos, su distribución geográfica, sus ciclos biológicos y la biomasa total (Guibourd et al., 2023). Thakur (2020) introduce que el alcance de los desajustes tróficos inducidos por el calentamiento en las redes tróficas en suelos y partes aéreas difiere debido a una mayor estasis en las redes tróficas marrones, lo que podría desencadenar un desequilibrio en el flujo de masa y energía entre las dos redes tróficas. Esto pone de manifiesto la importancia de comprender las relaciones entre ambos tipos de redes tróficas. También se han encontrado evidencias de desajuste fenológico en las interacciones tróficas entre plantas, insectos y vertebrados (Zohner & Renner, 2018).

RR3.7. Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a los cambios en las variables climáticas.

Los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que los seres humanos obtienen de los ecosistemas. Este concepto, ampliamente difundido por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), se clasifica en cuatro grandes categorías: servicios de provisión (bienes tangibles como agua dulce, alimentos, madera y recursos genéticos); servicios de regulación (procesos naturales que regulan el clima, la calidad del aire y del agua, y que contribuyen a reducir los riesgos asociados a fenómenos naturales como inundaciones y tormentas); servicios de soporte (procesos fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas, como por ejemplo la formación del suelo, el ciclo de nutrientes, la polinización y la fotosíntesis); servicios culturales (beneficios no materiales relacionados con el ocio, la recreación, la espiritualidad y el valor estético). La IPBES (Plataforma Intergubernamental sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas) utiliza un marco que actualiza el de servicios ecosistémicos (IPBES, 2022), llamado contribuciones de la naturaleza a las personas, que presta mayor atención a las interdependencias entre los servicios, más énfasis en la equidad y el acceso, y reconoce los trade-offs y los umbrales en la gestión de los ecosistemas con la nueva denominación de contribuciones de la naturaleza a las personas. Los clasifica en servicios de regulación, materiales y asistencia, y no materiales. Los ecosistemas continentales, costeros y marinos de España son una fuente significativa de servicios ecosistémicos. No obstante, el programa de Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España (EME, 2011) indica que muchos servicios ecosistémicos, como la calidad del agua, la fertilidad

del suelo y la biodiversidad, se encuentran degradados o en declive por la presión humana y el cambio climático; y solo algunos ecosistemas de montaña y áreas protegidas mantienen un buen estado de conservación. El informe advierte que esta degradación pone en riesgo el bienestar humano y la sostenibilidad futura. Es ya evidente que el cambio climático está intensificando las perturbaciones pueden provocar cambios importantes en las condiciones de los ecosistemas que amenazan los servicios ecosistémicos (Weiskopf *et al.*, 2020; Dee *et al.*, 2025), y por tanto a las contribuciones de la naturaleza a las personas.

RR3.8. Riesgo de afección a especies estructurantes de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.

Las especies estructurantes —aquellas que desempeñan un papel clave en la conformación, estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas)— sufren alteraciones negativas en su distribución, abundancia, salud o capacidad de regeneración como consecuencia el aumento de temperatura (puede superar los umbrales fisiológicos de muchas especies estructurantes), los cambios en precipitación y disponibilidad hídrica (por ejemplo, puede generar estrés hídrico en árboles o colapsos de especies en humedales), la acidificación oceánica o los eventos climáticos extremos. Los cambios en estas especies pueden tener fuertes impactos perjudiciales en las interacciones facilitadoras que mantienen la estabilidad de la comunidad, con consecuencias posteriores para el funcionamiento del ecosistema (Smale *et al.*, 2023). Las especies estructurantes mantienen la diversidad y la dinámica de la comunidad, así como las funciones clave del ecosistema, y tienden a ser desproporcionadamente importantes en múltiples dimensiones del nicho, independientemente de la abundancia de las especies, el resultado de la interacción o la riqueza de especies de la comunidad (Timóteo *et al.*, 2022). Los cambios en la distribución de las especies estructurales y la abundancia relativa de los organismos fundamentales provocados por el clima pueden inducir una restructuración de las comunidades y alterar las interacciones ecológicas, con consecuencias potencialmente negativas para la biodiversidad local y los procesos tróficos en los ecosistemas marinos. Uno de los ecosistemas con evidencias de especies estructurantes afectadas son los marinos (Wernberg *et al.*, 2024). Muchos ecosistemas costeros están perdiendo especies estructurantes debido a las olas de calor marinas, lo que podría afectar a la biodiversidad asociada, la función ecológica y la prestación de servicios ecosistémicos en el Mediterráneo occidental (Smith *et al.*, 2024).

RR3.9. Riesgo de pérdida de hábitats debido a las alteraciones en las variables climáticas.

Este riesgo se refiere a la reducción, fragmentación o desaparición de hábitats naturales como consecuencia de los cambios en variables climáticas tales como el aumento de la temperatura,

la modificación de los patrones de precipitación, el incremento del nivel del mar, la acidificación de océanos y la mayor frecuencia de fenómenos extremos. Dichas alteraciones comprometen la capacidad de los ecosistemas para mantener condiciones adecuadas de refugio, alimentación y reproducción para las especies que los habitan, poniendo en riesgo su supervivencia y estabilidad ecológica. Cada vez hay más pruebas que sugieren que el cambio climático interactuará negativamente con la pérdida y la fragmentación del hábitat y contribuirá de forma sinérgica a la degradación de la diversidad biológica a nivel de especies, genético y/o de hábitat (Pyke, 2004; Brook *et al.*, 2008). Las temperaturas máximas y el cambio en las precipitaciones parecen ser factores determinantes clave de los efectos de la pérdida y fragmentación del hábitat sobre la biodiversidad terrestre (Mantyka-Pringle *et al.*, 2012), las zonas con altas temperaturas donde las precipitaciones medias han disminuido con el tiempo aumentan los efectos negativos de la pérdida de hábitat sobre la densidad y/o diversidad de las especies.

RR3.10. Riesgo de entrada y expansión de especies exóticas invasoras inducidos por el clima en los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce.

Este riesgo se refiere a la introducción, establecimiento y proliferación de especies exóticas invasoras en ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce, facilitadas por los cambios en las variables climáticas. Estas especies pueden incluir insectos que constituyen plagas o vectores de los mismos. El aumento de la temperatura, la modificación de los patrones de precipitación, el deshielo de glaciares, la elevación del nivel del mar y la frecuencia de eventos extremos pueden crear condiciones que favorecen la propagación de especies exóticas invasoras (Díaz *et al.*, 2012) al alterar los hábitats, proporcionar condiciones favorables para ellas, proporcionar nuevas rutas de transporte como el deshielo marino, estresar a las especies nativas y aumentar la eficacia de las especies invasoras. Una disminución de las especies vegetales de sucesión tardía provocada por el clima podría dar lugar a un aumento del predominio de especies de sucesión temprana, o podría dejar comunidades vegetales mal adaptadas que sean susceptibles de ser invadidas por especies que puedan prosperar en el nuevo clima de la zona incluyendo especies ornamentales exóticas invasoras (Dukes & Mooney, 1999). El cambio climático puede influir en las tasas de introducción, establecimiento, dispersión e impacto de las especies exóticas invasoras (Pyšek *et al.*, 2020). Según el primer informe de la aplicación del Reglamento de la UE sobre especies exóticas invasoras (EEI) prevé que el aumento previsto del comercio y los viajes a nivel mundial, junto con el cambio climático, incrementen la introducción y el establecimiento de especies exóticas invasoras (European Commission, 2021). Estas invasiones se producen tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos, por ejemplo, en las últimas décadas se ha producido una rápida aceleración en el ritmo de establecimiento de especies introducidas en aguas estuarios como en el estuario del Rio Miño (Souza *et al.*, 2023). También se han observado en espacios protegidos como la red de Parques Nacionales (Gallardo *et al.*, 2024).

RR3.11. Riesgo de incremento de las plagas y enfermedades debido a alteraciones en las variables climáticas.

Este riesgo se refiere al aumento en la incidencia y expansión de plagas y enfermedades que afectan ecosistemas, como consecuencia de las alteraciones en las variables climáticas. Cambios en la temperatura, humedad, patrones de precipitación y frecuencia de fenómenos extremos pueden modificar los ciclos de vida, reproducción, dispersión y supervivencia de los organismos causantes (insectos, patógenos, hongos, bacterias y virus), favoreciendo su proliferación y aumentando la presión sobre las especies y los ecosistemas. Los insectos desempeñan un papel crucial en la propagación de diversas enfermedades de las plantas, incluidos virus y bacterias (Subedi *et al.*, 2023). Los posibles efectos directos e indirectos sobre las plagas del cambio climático incluyen: cambios en su distribución geográfica, como la expansión o el retroceso de su área de distribución, o un mayor riesgo de introducción de plagas; cambios en la fenología estacional, como el momento de la actividad primaveral o la sincronización de los eventos del ciclo de vida de las plagas con sus plantas hospedadoras y enemigos naturales; y cambios en aspectos de la dinámica poblacional, como la hibernación y la supervivencia, las tasas de crecimiento poblacional o el número de generaciones de especies policíclicas (Juroszek & von Tiedemann, 2013; Richerzhagen *et al.*, 2011). Por ejemplo, Los virus vegetales y sus insectos vectores pueden verse especialmente favorecidos por las altas temperaturas hasta que se alcanza su umbral temperatura máxima (Trębicki, 2020).

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del sector del Patrimonio Natural, la Biodiversidad y Áreas Protegidas.

Id.	Riesgo relevante	Riesgo clave
RR3.1	Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.	RC3.1
RR3.2	Riesgo de erosión, alteración y pérdida de formaciones geológicas únicas debido a distintas amenazas climáticas.	
RR3.3	Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.).	RC3.2
RR3.4	Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas terrestres debido a las alteraciones en las variables climáticas.	
RR3.5	Riesgo sobre la estabilidad de los ecosistemas marinos (estructura y funcionamiento) y pérdida de especies asociadas por aumento de olas de calor marinas, aumento de temperatura del agua y acidificación.	
RR3.6	Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.	RC3.3
RR3.7	Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a los cambios en las variables climáticas.	RC3.4
RR3.8	Riesgo de afección a especies estructurantes de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.	
RR3.9	Riesgo de pérdida de hábitats debido a las alteraciones en las variables climáticas.	
RR3.10	Riesgo de entrada y expansión de especies exóticas invasoras inducidos por el clima en los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce.	
RR3.11	Riesgo de incremento de las plagas y enfermedades debido a alteraciones en las variables climáticas.	

Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas

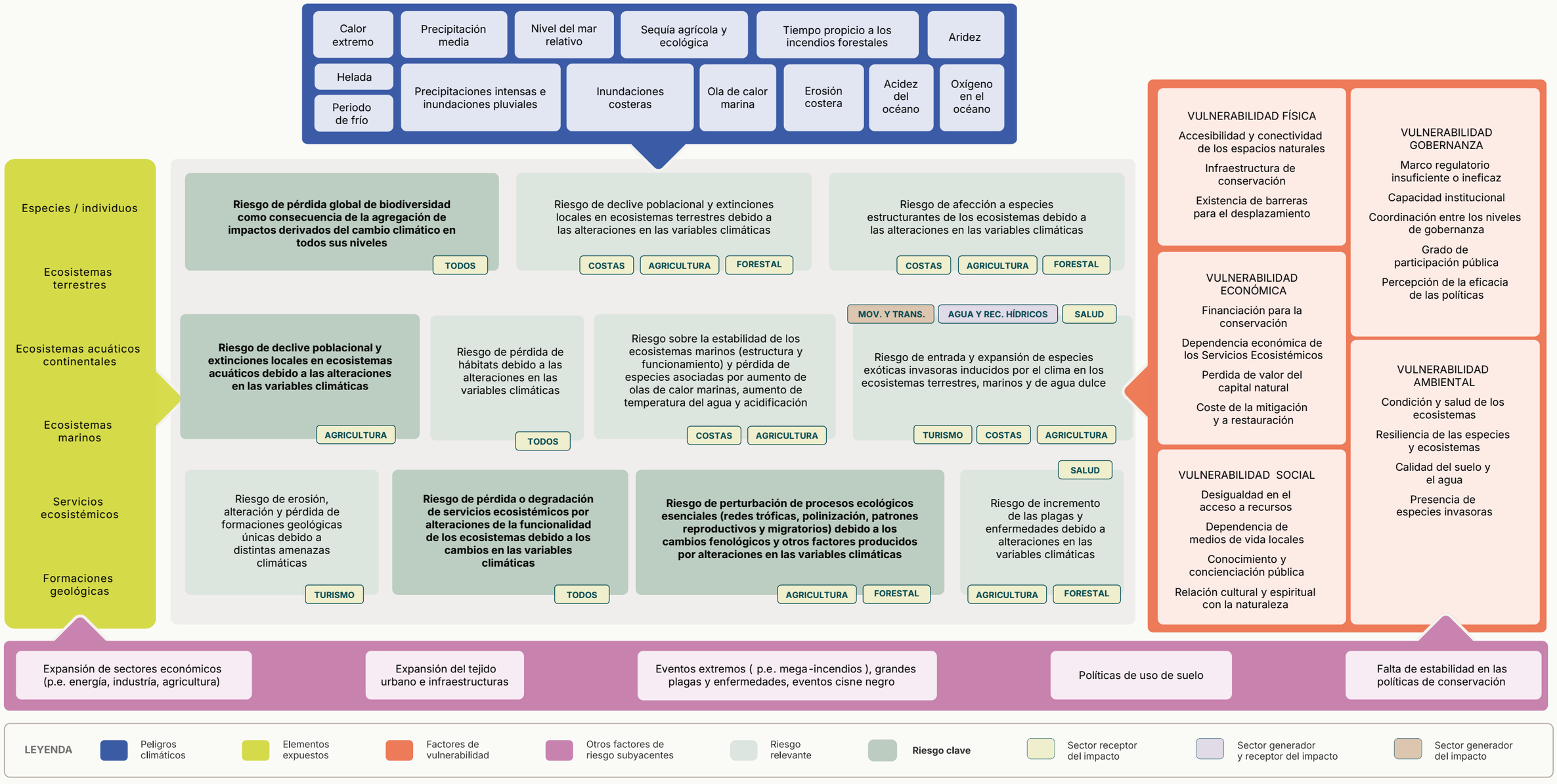


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector del Patrimonio Natural, la Biodiversidad y Áreas Protegidas. Fuente: basado en UNDRR (2022).

4. Riesgos clave del sector del patrimonio natural, la biodiversidad y las áreas protegidas

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que se traducen en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición y en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector del Patrimonio Natural, la Biodiversidad y las Áreas Protegidas, los riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts & Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024b). La aplicación de dichos criterios al sector puede consultarse en detalle en el Análisis Multicriterio.

Tras la priorización de los riesgos relevantes, los cuatro riesgos con la puntuación más alta se convirtieron en clave:

- RR3.1 Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles. (RC3.1).

- RR3.3 Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc. (RC3.2).

- RR3.6 Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas. (RC3.3).

- RR3.7 Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas. (RC3.4).

Otros riesgos significativos, no considerados clave, pero para los que sí es necesario un seguimiento activo son:

- RR3.8 Riesgo de afección a especies estructurantes de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.

- RR3.10 Riesgo de entrada y expansión de especies exóticas invasoras inducidos por el clima en los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce.

A continuación, se describen en profundidad cada uno de los riesgos clave priorizados.

4.1. RC3.1. Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles

España es reconocida como uno de los 25 puntos críticos de biodiversidad a nivel mundial y está considerada uno de los países con mayor biodiversidad de la Unión Europea. Factores biogeográficos, oceánicos, hidrológicos y climáticos, son, entre otros, responsables de esa elevada biodiversidad terrestre y marina. La Península Ibérica forma parte de cuatro regiones biogeográficas terrestres: mediterránea, atlántica, alpina y macaronésica; y las aguas marinas se distribuyen en las regiones mediterránea, atlántica y macaronésica.

La diversidad geográfica da lugar a una gran variedad de paisajes y ecosistemas que incluyen importantes ecosistemas marinos, como las praderas de fanerógamas marinas, los arrecifes y fondos biogénicos, los fondos de maërl y los bosques de macroalgas; espacios intermareales con una elevada biodiversidad; importantes ecosistemas costeros como playas, acantilados, sistemas dunares, e importantes humedales costeros, marismas, deltas, estuarios, rías, etc.; así como ecosistemas terrestres, bosques, matorrales, pastizales, humedales interiores y ecosistemas esteparios, entre otros. Cada uno de ellos alberga hábitats característicos que han favorecido el desarrollo de una gran variedad de tipos de vegetación, a los que se asocian diversas comunidades faunísticas.

En cuanto al número de endemismos, aunque actualmente no existe un inventario público y exhaustivo que recoja todos los taxones, en lo que se refiere a la flora, se estima que el país alberga aproximadamente 1.500 especies endémicas, además de unas 500 especies adicionales compartidas

con el norte de África. Esta elevada tasa de endemismos sitúa a España como el país con mayor número de especies de flora endémica amenazada de Europa, según el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y la Biodiversidad a 2030 (MITECO, 2023b). Las especies endémicas suelen tener rangos geográficos limitados y requerimientos ecológicos específicos. Entre los endemismos más representativos del patrimonio natural en tanto en fauna como de flora se pueden destacar, entre otras: mamíferos como el lince y el lobo ibéricos; aves como el águila imperial ibérica; especies de herpetofauna como la lagartija de las Pitiusas y el tritón del Montseny; especies emblemáticas de la flora como el Pino canario, el drago, el tajinaste rojo, varias especies de retamas; invertebrados marinos como la lapa ferruginosa o la gambita ibérica; peces como el gobio de roca y la vaqueta; fanerógamas marinas como la posidonia y la seba); y muchas otras especies endémicas tanto de las islas Canarias como de la península ibérica. La desaparición de estas especies supone su extinción global, lo que subraya la importancia de su conservación como parte esencial del patrimonio natural y biológico del país. Cabe destacar también la presencia de algunas razas de ganado autóctonas y endémicas, como la vaca retinta o el cerdo ibérico, que forman parte del acervo genético y cultural vinculado a los ecosistemas tradicionales.

La pérdida de biodiversidad en España, a nivel genético, de especies y de ecosistemas, está estrechamente vinculada al cambio climático y a los **peligros climáticos** asociados. En el medio terrestre, los principales peligros son el aumento de temperaturas, las olas de calor y la reducción de disponibilidad de agua debido a las sequías. A esto se suman la pérdida de suelo y la erosión causadas por los eventos extremos como precipitaciones torrenciales e incendios forestales. En el medio marino, el calentamiento de las aguas, la acidificación oceánica y la pérdida de oxígeno representan peligros significativos para la biodiversidad marina, afectando tanto a especies como a ecosistemas enteros. Además, existen otros peligros de origen antrópico que, aunque no son climáticas, interactúan con el cambio climático y agravan sus efectos. Entre ellas se encuentran la trasformación del uso del suelo para actividades productivas, la sobreexplotación de recursos naturales, el vertido de residuos, la contaminación y la introducción de especies invasoras.

En lo que se refiere a la **exposición**, se observa una evolución del clima hacia condiciones más cálidas, áridas y mediterráneas, especialmente en zonas templadas y de transición, lo cual supone una alteración de los límites biofísicos que amenaza en particular a los ecosistemas de montaña y las especies asociadas (Lorente *et al.*, 2024). Las especies en general están expuestas de forma directa a los peligros climáticos que afectan a su fisiología como el aumento de temperaturas extremas, la alteración de los ciclos hídricos o la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos. En los ecosistemas terrestres, el aumento de la aridez puede provocar grandes cambios en el ciclo de los nutrientes y aumentar el impacto de la radiación ultravioleta en la descomposición de la hojarasca, lo que puede causar un desequilibrio en el ciclo biogeoquímico con efectos negativos en la diversidad vegetal (Pugnaire *et al.*, 2019). En los ecosistemas marinos las especies se ven especialmente

amenazadas por la alteración y la contaminación de determinadas zonas costeras, la pesca, la contaminación química, la alteración física y la eutrofización de los hábitats y la urbanización intensiva de la costa. La pérdida de biodiversidad, en especial si se trata de especies estructurantes o con funciones críticas para los ecosistemas pueden verse gravemente comprometidos los servicios ecosistémicos como riesgo en cascada.

La biodiversidad en España exhibe una **vulnerabilidad** particularmente elevada ante el cambio climático, debido a su ubicación geográfica, la presencia de ecosistemas extremadamente sensibles y un clima caracterizado por periodos prolongados de sequía. La mortalidad en las poblaciones de una especie o varias especies en un ecosistema viene condicionada por la idoneidad del hábitat para las mismas, la tolerancia fisiológica de la especie, la diversidad genética dentro de la misma y la variabilidad y plasticidad fenotípica. Las especies que carecen de suficiente capacidad adaptativa para responder rápidamente a estos cambios están en mayor riesgo de sufrir un declive poblacional o incluso extinción local., En este contexto, las poblaciones con baja variabilidad genética presentan menor capacidad de adaptación frente a alteraciones ambientales abruptas —una condición exacerbada por el calentamiento, las olas de calor y la sequía (Armarego-Marriott, 2024). Este riesgo es aún más agudo para especies endémicas, razas autóctonas y variedades tradicionales, muchas de las cuales ya se hallan en situación de vulnerabilidad genética (Irisarri *et al*., 2024). La pérdida de diversidad genética en poblaciones debilita la resiliencia de sistemas naturales y productivos, comprometiendo su capacidad para responder ante enfermedades, plagas o eventos climáticos extremos. Por ejemplo, los esfuerzos de conservación actuales en áreas de alta diversidad genética ocurren en zonas protegidas que cubren menos del 20 % de esos "puntos calientes" genéticos (Chiocchio *et al*., 2024). Las especies endémicas de montaña o con distribuciones muy restringidas enfrentan una elevada exposición pues su desplazamiento espacial es limitado. La pérdida de especies puede ser especialmente crítica en España debido a su elevado número de endemismos —estos organismos, al tener mapas de distribución muy específicos y poca plasticidad adaptativa, son altamente susceptibles a las alteraciones climatológicas. Además, una caída poblacional crítica puede comprometer funciones ecológicas esenciales, aunque la especie no se extinga. En algunos casos, poblaciones generalistas expanden su dominio local y desplazan especies especializadas, alterando la composición funcional de los ecosistemas sin que necesariamente cambie el número total de especies. La desaparición de relaciones como la polinización, la simbiosis o la depredación puede alterar profundamente los ecosistemas, incluso si las especies involucradas aún existen.

En las últimas décadas, según las evaluaciones de la IUCN entre el 40 % y el 60 % de las especies evaluadas está incluidas en alguna categoría amenazada. Sin embargo, no todos los grupos taxonómicos tienen el mismo nivel de riesgo: en el caso de las plantas vasculares, solo el 15 % de las especies están en peligro; en el de los vertebrados, la cifra aumenta al 31 %; y los peces continentales y los anfibios presentan el mayor porcentaje de especies en peligro (55 % y 31 %, respectivamente). En la Lista Roja

de Especies Amenazadas de España de IUCN en 2022 se ha catalogado 193 especies en peligro crítico, 418 en peligro y 493 vulnerables, concentrándose en las Islas Canarias un 52 % de las especies en peligro crítico (107 de 204). Hasta la fecha, ninguna extinción documentada se atribuye únicamente al cambio climático. Sí hay múltiples desapariciones locales, declives y riesgos de extinción acelerados por el aumento de temperaturas, disminución de lluvias y cambios en los ecosistemas. Este es el caso de:

- Los anfibios, como la rana pirenaica (*Rana pyrenaica*) y el sapo partero balear (*Alytes muletensis*), se encuentran entre los grupos de vertebrados más vulnerables a los cambios fisiológicos inducidos por el cambio climático, siendo extremadamente sensibles a pequeños cambios de temperatura y humedad (Alagador, 2022; Bosch *et al*., 2001).

- En cuanto a reptiles, puede mencionarse la desaparición o retroceso de algunas subpoblaciones de lagartija carpetana (*Iberolacerta cyreni*) en zonas altas de la Sierra de Guadarrama, posiblemente debido al aumento de las temperaturas en su hábitat (Martín & López, 2013). Otro ejemplo es el lagarto gigante de La Palma (*Gallotia auaritae*), considerado extinto desde hace décadas, cuya posible recolonización también se ha visto impedida por los efectos del cambio climático.

- Descenso y desaparición de poblaciones de murciélagos en el sur de España (Fialas *et al*., 2025).

- Diversas especies de abejorros de alta montaña (*Bombus* spp.) han experimentado una pérdida en su rango de distribución en altitudes más bajas, con desapariciones locales en Pirineos y Cordillera Cantábrica, y generalizado en Europa (Kerr *et al*., 2015).

- Algunas especies de moluscos endémicos, como algunas del género *Xerocrassa* ssp., muy localizadas en ambientes secos, están desapareciendo de sus hábitats (p. ej. en enclaves de las montañas costeras del Este Peninsular e Islas Baleares) por la pérdida de humedad de sus microhábitats (IUCN, 2011).

- Las poblaciones de *Gelidium* spp, están sufriendo un retroceso generalizado a lo largo de toda la costa cantábrica (Anadón *et al*., 2009; Gorostiaga *et al*., 2011; Martinez *et al*., 2015). También se ha detectado la recesión de especies de aguas templado-frías, como *Fucus spiralis, Fucus vesiculosus, Fucus serratus, Himanthalia elongata y Saccorhiza polyschides* para la costa asturiana (Anadón *et al*., 2009, 2014; Duarte *et al*., 2013).

- Se ha constatado la desaparición de 168 especies de flora vascular en las costas de las Islas de la Macaronesia (de las cuales 155 fueron extinciones locales), con una correlación significativa con urbanización, turismo y presión climática (de estas, 13 corresponden a extinciones globales, es decir, que se han dado en todo el mundo, mientras que 155 a locales y regionales) (Orihuela-Rivero 2025).

La interacción de los peligros descritos, junto con los elementos expuestos y la vulnerabilidad de las especies generan el riesgo de pérdida de biodiversidad (genética, de especies y de ecosistemas) en España, especialmente crítico en el caso de poblaciones de especies endémicas y ecosistemas en las que estas son esenciales para su funcionamiento.

Los principales **impactos** derivados del cambio climático, que pueden llevar a la degradación y pérdida de biodiversidad son: la propia pérdida de especies y de hábitats, que en casos extremos puede llevar a la cambios ecológicos locales incluyendo la alteración de los ciclos biogeoquímicos; la alteración de los ciclos de vida estacionales y de reproducción de muchas especies desajustando las interacciones ecológicas y las redes tróficas (alterando, por ejemplo, las relaciones entre depredadores y presas o entre plantas y polinizadores); y la pérdida de la conectividad entre ecosistemas lo que dificulta los desplazamientos y la recolonización de hábitats, aumentando el riesgo de extinciones locales. También pueden darse casos en los que la diversidad genética de algunas especies puede tener implicaciones sobre la supervivencia de otras especies con las que interactúa dentro de una comunidad (Whitham *et al.*, 2006). Por ejemplo, Las proyecciones para escenarios de altas emisiones muestran que las comunidades endémicas en la Cuenca Mediterránea se verán modificadas para 2041-2060 y que, de las 75 especies de peces endémicos del Mediterráneo 44 probablemente reducirán su área de distribución y poblaciones (MedECC, 2020).

La **Figura 2** representa la cadena de impacto asociada a este riesgo clave, reflejando de forma estructurada los componentes que lo generan: peligro, exposición y vulnerabilidad, así como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco conceptual, y sobre él actúan tanto los peligros climáticos como otros factores que potencian el riesgo. A partir de este riesgo se identifican los impactos potenciales y los impactos en cascada, que pueden afectar directamente al sector analizado o estar interrelacionados con otros sectores, reflejando así la naturaleza sistémica del riesgo climático.

Los impactos derivados de este riesgo clave son múltiples y producen efectos en cadena que generan importantes **impactos en cascada** reflejados inicialmente en cambios en las cadenas tróficas, la pérdida de resiliencia y la pérdida de servicios ecosistémicos, que a su vez pueden tener impactos económicos en sectores clave como el sector forestal, el turismo o la agricultura, e incluso en la salud por el aumento de enfermedades por zoonosis o explosiones de plagas. Además, el cambio climático actúa de forma indirecta a través de la modificación y destrucción de hábitats**,** lo que representa un peligro adicional para la supervivencia de numerosas especies, especialmente aquellas con requerimientos ecológicos específicos o con áreas de distribución reducidas. En algunos casos impulsada por los cambios en las variables climáticas, la aparición de especies con comportamientos invasores está afectando a zonas de gran valor ecológico (Capdevila-Argüelles *et al.*, 2011). El impacto del cambio climático sobre la biodiversidad y sobre las contribuciones de la naturaleza a las personas está aumentando rápidamente en Europa, y es probable que sea uno de los factores más importantes en el futuro (IPBES, 2018b).

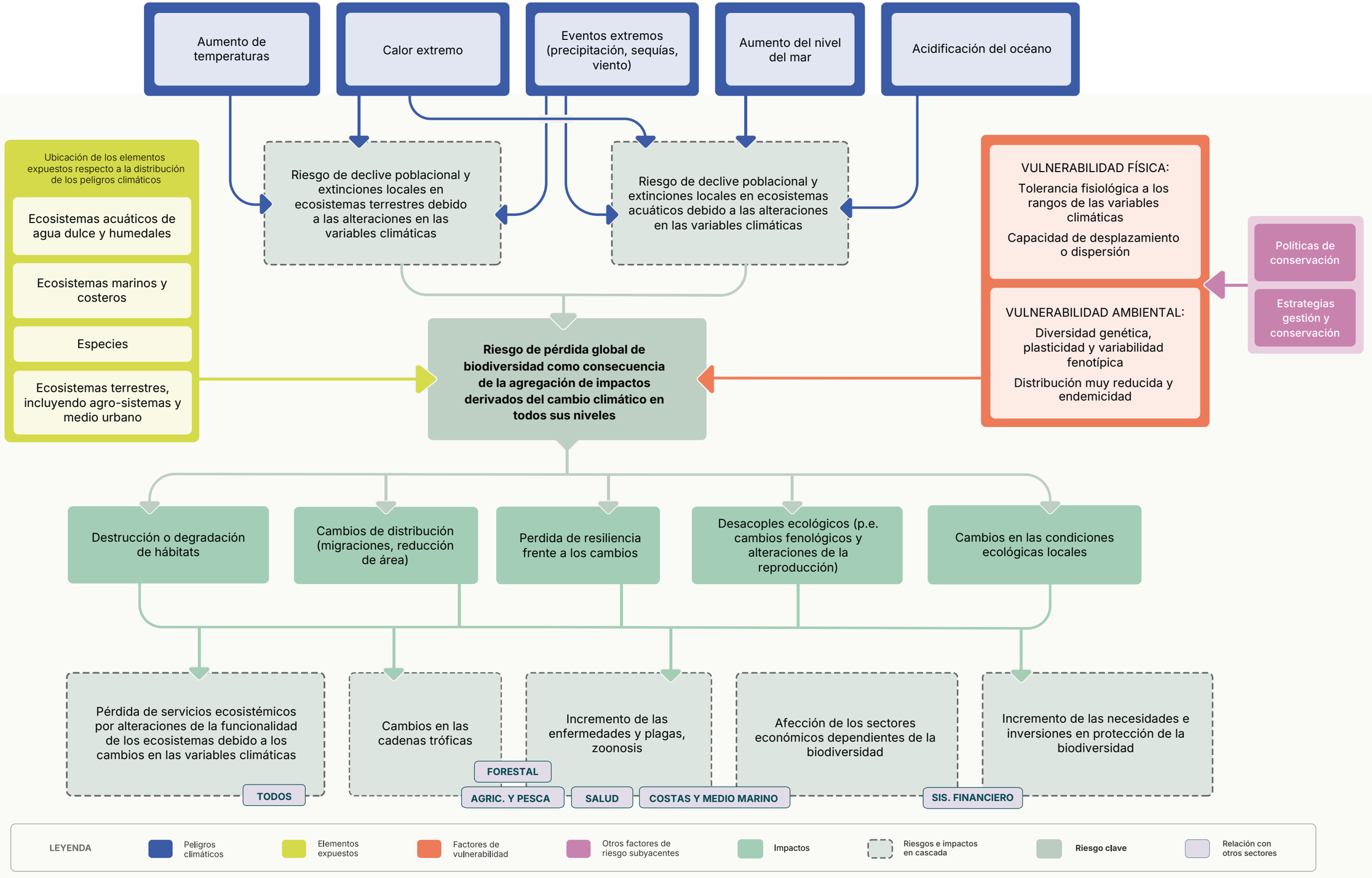


Figura 2. Cadena de impacto del riesgo clave de riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.

Ficha 1. Análisis del riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio Plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Crítica	Crítica	Catastrófica
	En la Lista Roja de Especies Amenazadas de España (IUCN, 2022) se ha catalogado 193 especies en peligro crítico, 418 en peligro y 493 vulnerables. Las Islas Canarias concentran un 52 % de las especies en peligro crítico. El impacto del cambio climático sobre la biodiversidad y sobre las contribuciones de la naturaleza a las personas está aumentando rápidamente en Europa, y es probable que sea uno de los factores más importantes en el futuro (IPBES, 2018).	Existe un estudio para la España Peninsular con modelos de cambio de distribución de los vertebrados (Araujo *et al.*, 2011) y flora y vegetación (Felicísimo *et al.*, 2011), que para escenarios A2 y B2 que muestran mayoritariamente particular en las CCAA insulares y los ecosistemas de montaña.	Los estudios con modelos de cambio de distribución de los vertebrados, flora y vegetación (Araujo *et al.*, 2011; Felicísimo *et al.*, 2011) muestran que con incrementos de la Tª media de 2 a 5 C las especies españolas enfrentarían una reducción significativa en sus áreas de distribución potencial, especialmente en el largo plazo.	La mayoría de las especies de vertebrados modelizadas por Araújo *et al.*, (2011) experimentarán una reducción significativa de su área climática idónea, los más afectados son los anfibios y reptiles. Para el 70-80 % de las especies, menos del 70 % del área actual será adecuada. Entre los que se encuentran una treintena de endemismos. Contracciones de área grandes también para la flora (Felicísimo *et al.*, 2011), con el consiguiente riesgo de extinción global de las especies.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio Plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Alto	· Media · Alto
	Se dispone de estudios globales muy agregados (en aves ver Matthews *et al.*, 2024) o estudios en áreas muy concretas. Escasez y heterogeneidad de los datos.	Muchos de los estudios existentes no actualizados a los últimos escenarios del IPCC, o estudios en áreas muy concretas.	Muchos de los estudios existentes no actualizados a los últimos escenarios del IPCC, o estudios en áreas muy concretas.	Muchos de los estudios existentes no actualizados a los últimos escenarios del IPCC. Pero los límites de tolerancia conocidos de muchas especies hacen pensar en un alto nivel de confianza de que este riesgo se materialice.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incremento de las temperaturas del aire y el agua y fenómenos extremos relacionados (olas de calor, sequías). • Inundación de zonas costeras por subida del nivel del mar. • Inundaciones fluviales y pluviales debido a precipitaciones extremas. • Modificación de las características de agua marina (salinidad, pH).	• Ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales. • Ecosistemas marinos y costeros. • Ecosistemas terrestres, incluyendo agro-sistemas y ecosistemas urbanos. • Especies de flora y fauna, microorganismos y su acervo genético.	• Capacidad de desplazamiento o dispersión (puedes estar dificultada por la fragmentación del hábitat). • Diversidad genética, plasticidad y variabilidad fenotípica. • Tolerancia fisiológica a los rangos de las variables climáticas. • Distribución reducida y endemicidad. Factores subyacentes: • Políticas de conservación. • Estrategias de gestión y conservación.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La Unión Europea ha abordado la importancia de considerar los efectos transfronterizos de la pérdida de biodiversidad promoviendo la cooperación entre Estados miembros y la implementación de políticas integradas para la conservación de la biodiversidad en diversos documentos, como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por La que se Modifica La Directiva 2011/92/UE, Relativa a La Evaluación de Las Repercusiones de Determinados Proyectos Públicos y Privados sobre El Medio Ambiente., 2014).
Territoriales	El cambio climático afecta de forma desigual a la biodiversidad en España. Regiones del sureste, como Murcia y Almería, presentan una mayor exposición debido a la escasez hídrica y las altas temperaturas, lo que puede comprometer la supervivencia de especies sensibles y favorecer procesos de extinción local., Además, las zonas costeras, especialmente el Mediterráneo, enfrentan riesgos elevados debido al aumento del nivel del mar, la erosión costera y la salinización de los acuíferos, que alteran hábitats clave para especies marinas y costeras.
Sociales	Los grupos sociales más vulnerables a los impactos serán las comunidades rurales, puesto que dependen más directamente de los servicios ecosistémicos, como agua, suelos agrícolas y recursos forestales; las poblaciones que viven en zonas costeras, especialmente en el Mediterráneo, se enfrentan a riesgos debidos a la subida del nivel del mar, la erosión costera y el aumento de las temperaturas; así como las comunidades que dependen de servicios ecosistémicos en áreas de alta montaña (por ejemplo, agua de deshielo) se verán afectadas por la disminución de precipitaciones.
Maladaptación	Mover especies amenazadas a nuevas áreas sin estudiar la idoneidad climática o ecológica que puede crear competencia con especies nativas. Mantener límites fijos de parques o reservas diseñados para condiciones climáticas pasadas, con lo que las áreas protegidas se vuelven menos representativas de la biodiversidad futura. Las malas adaptaciones suelen tener tres rasgos comunes: No consideran los escenarios climáticos futuros; se centran en una sola especie; y no integran la conectividad ecológica ni los procesos naturales.
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo.

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Dada la diversidad de especies es difícil establecer umbrales críticos para cada una de ellas. En el caso de los ecosistemas marino, para algunas especies sensibles a la temperatura con reducida capacidad de movilidad ya parecen haberse sobrepasado umbrales críticos.
Lock-in/Bloqueo	La expansión de actividades agrícolas y ganadera, una mala gestión de los ecosistemas naturales y la urbanización puede limitar la capacidad de adaptación de la zona, especialmente cuando se trata de especies endémicas con poblaciones reducidas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados

Planes o medidas en curso de gestión del riesgo

A nivel europeo destacan las siguientes estrategias y planes:

- Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020). Entre sus acciones clave se encuentra recuperar ecosistemas esenciales e implementar soluciones basadas en la naturaleza para mitigar y adaptarse al cambio climático.
- Directiva Hábitats (92/43/CEE): Protección de hábitats naturales y especies de interés comunitario.
- Directiva Aves (2009/147/CE): Conservación de aves silvestres y sus hábitats.
- Red Natura 2000: Red ecológica europea que incluye Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA).
- Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021). Una de sus acciones relevantes es promocionar la gestión sostenible del agua, bosques y suelos para mejorar su capacidad de adaptación.
- Pacto Verde Europeo (2019). Una de sus líneas de acción es integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en todas las políticas de la UE.
- La Ley de Restauración de la Naturaleza de la UE es el primer marco normativo europeo tiene como objetivo restaurar al menos el 20 % de las áreas terrestres y marinas degradadas en la UE para 2030, y alcanzar la totalidad de los ecosistemas que necesiten restauración para 2050.

A nivel nacional destaca la siguiente normativa:

- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020). Recoge acciones de identificación de servicios ecosistémicos y evaluación de su sensibilidad frente al cambio climático y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (última actualización 31/12/20). Modificada por Ley 33/2015, que refuerza medidas frente a especies exóticas invasoras y promueve la restauración ecológica.
- Ley 41/2010, de 29 de diciembre de Protección del Medio Marino
- Plan estratégico estatal del patrimonio natural y de la biodiversidad a 2030, aprobado por el Real Decreto 1057/2022, desarrollado en conformidad con lo previsto en el artículo 13 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Protección y Conservación del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (2021). Su objetivo es conservar y restaurar los ecosistemas para garantizar la provisión sostenible de servicios ecosistémicos, mediante la creación de redes de áreas protegidas conectadas para facilitar la migración de especies, la restauración de hábitats y el desarrollo de planes de ordenación que priorice la protección de servicios ecosistémicos esenciales.
- Ley 7/2021, de 20 de mayo de Cambio Climático y Transición Energética. Obliga a incluir la protección de los servicios ecosistémicos en todas las políticas relacionadas con el cambio climático.

Además, existen estrategias específicas para ecosistemas clave.

- Plan Estratégico de Humedales 2030 (2022) para fomentar la conservación de humedales como amortiguadores de fenómenos extremos.
- Estrategia Forestal Española horizonte 2050 (2022), Plan Forestal Español (2022-2032) y Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (2022), para incentivar la reforestación adaptativa con especies resistentes al estrés hídrico y térmico.
- Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2016), centrada en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	En cuanto a la gobernanza se diferencian tres niveles administrativos. A nivel nacional: • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): responsable del diseño e implementación de políticas de cambio climático, gestión del agua y conservación de la biodiversidad. • Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA): Regula actividades agroganaderas, pesca sostenible y adaptación del sector primario al cambio climático. • Confederaciones Hidrográficas: Gestionan los recursos hídricos a nivel de cuenca, incluyendo medidas para mantener la funcionalidad ecosistémica de los ríos. A nivel autonómico, las Comunidades Autónomas con competencias en gestión de recursos naturales, ordenación del territorio, planificación forestal y gestión de espacios protegidos. A nivel local, los ayuntamientos y diputaciones provinciales responsables de la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el ámbito local, como gestión del agua, protección de humedales, bosques urbanos y promoción de energías renovables. Otros actores clave son los siguientes: • Los actores públicos como las instituciones educativas y de investigación, como el CSIC o universidades que desarrollan estudios sobre resiliencia ecosistémica y riesgos climáticos. • La sociedad civil, como las ONG ambientales que trabajan en la restauración de ecosistemas y sensibilización sobre la pérdida de servicios ecosistémicos, así como las plataformas comunitarias y asociaciones rurales que promueven prácticas sostenibles y adaptativas. • El sector privado (empresas agrícolas, forestales y turísticas).
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La adopción de medidas de adaptación para la conservación de la biodiversidad puede aportar una amplia gama de beneficios en los ámbitos ambiental, social, económico y cultural. • Beneficios ambientales como la conservación de especies con una función clave en los ecosistemas, la reducción de riesgos como la desertificación, pérdida de suelos, la mitigación del cambio climático puesto que la protección de las especies requiere la restauración de sus hábitats. • Beneficios sociales como el aumento de la resiliencia de ecosistemas y de la capacidad de las comunidades para adaptarse a las condiciones climáticas extremas. • Beneficios económicos porque los ecosistemas más diversos son más resilientes y el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio ligadas al ecoturismo. • Beneficios culturales como la preservación de especies emblemáticos que son piezas clave para la identidad cultural y el patrimonio local y el fomento de la conciencia ambiental y la educación. Además, la implementación de medias de adaptación dará cumplimiento a compromisos internacionales como el Acuerdo de París, metas del Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal, la Agenda 2030 de Naciones Unidas, y otras metas globales y contribuirá, en términos globales, a la regulación y estabilización climática.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Este riesgo puede afectar a la resiliencia de los ecosistemas y comprometer su capacidad para capturar carbono y mantenerlo almacenado, o proveer de biocombustibles para la sustitución. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • El mantenimiento de ecosistemas diversos y resilientes es un elemento importante en la mitigación del cambio climático, ralentizando fenómenos como la desertificación, el aumento del nivel del mar y las alteraciones en los ciclos de agua, etc. Para la descarbonización del sistema eléctrico es necesario el despliegue de energías renovables en el territorio que tiene implicaciones directas sobre la biodiversidad.
Déficits de información	• No se dispone de proyecciones actualizadas con los nuevos escenarios climáticos de la idoneidad de los hábitats. • Escasa información sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas tras perturbaciones. • Limitada comprensión de cómo diferentes especies clave interactúan y sostienen la funcionalidad ecosistémica. • No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales en cascada identificados. • No se dispone de información sobre cómo múltiples peligros interactúan y exacerban la degradación ecosistémica para la mayoría de los servicios ecosistémicos. • No se dispone de información sobre los umbrales críticos. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un seguimiento periódico. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.2. RC3.2: Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.)

Como en el sector Costas y Medio Marino se ha abordado el riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial y la acidificación del mar (RC6.4), aquí sólo se abordará el riesgo en aguas continentales y humedales no costeros. España alberga una gran diversidad de ecosistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, humedales) todos ellos potencialmente vulnerables a los efectos del cambio climático.

Dudgeon *et al*., (2006) plantea tres principios en la relación entre la biodiversidad y la naturaleza física del hábitat acuático continental., Que se ve predominantemente influenciada por grandes eventos que ejercen su influencia en la morfología y configuración del cauce (Principio 1). No obstante, las sequías y los eventos de caudal bajo también ejercen su influencia al limitar la disponibilidad y la calidad generales del hábitat. Diversos factores asociados al régimen de caudal ejercen una notable influencia sobre los patrones del ciclo biológico, destacando la estacionalidad y la previsibilidad del patrón general., No obstante, otros aspectos relevantes incluyen el momento en que ocurren determinados eventos de caudal (Principio 2), lo que se ve sustentado por la observación de la dispersión longitudinal de organismos acuáticos migratorios, desencadenada por algunos eventos de caudal., Asimismo, se ha comprobado que otros eventos importantes permiten el acceso a hábitats de llanuras aluviales que, de otro modo, estarían desconectados (Principio 3). La biota autóctona de los sistemas fluviales ha experimentado una evolución en respuesta a las fluctuaciones en el caudal local., El cambio climático está provocando cambios a gran escala en la distribución y abundancia de las especies, así como en la reorganización de los ecosistemas acuáticos (Weiskopf *et al*., 2020). Y es por ello que, en la Península Ibérica y áreas insulares, se podría esperar que muchas especies de flora y fauna acuática pudieran ver reducida su área de distribución, aunque en algunos casos podrían expandirse o establecerse en otros territorios donde no se encuentran actualmente.

Los principales **peligros climáticos** impulsores de este riesgo son el aumento de la temperatura del agua (que reduce el oxígeno disuelto y afecta la fisiología de las especies sensibles pudiendo cambiar las tasas metabólicas y de reproducción); las olas de calor; y la modificación de los patrones de precipitación que incide en los caudales de ríos y humedales, el deshielo,

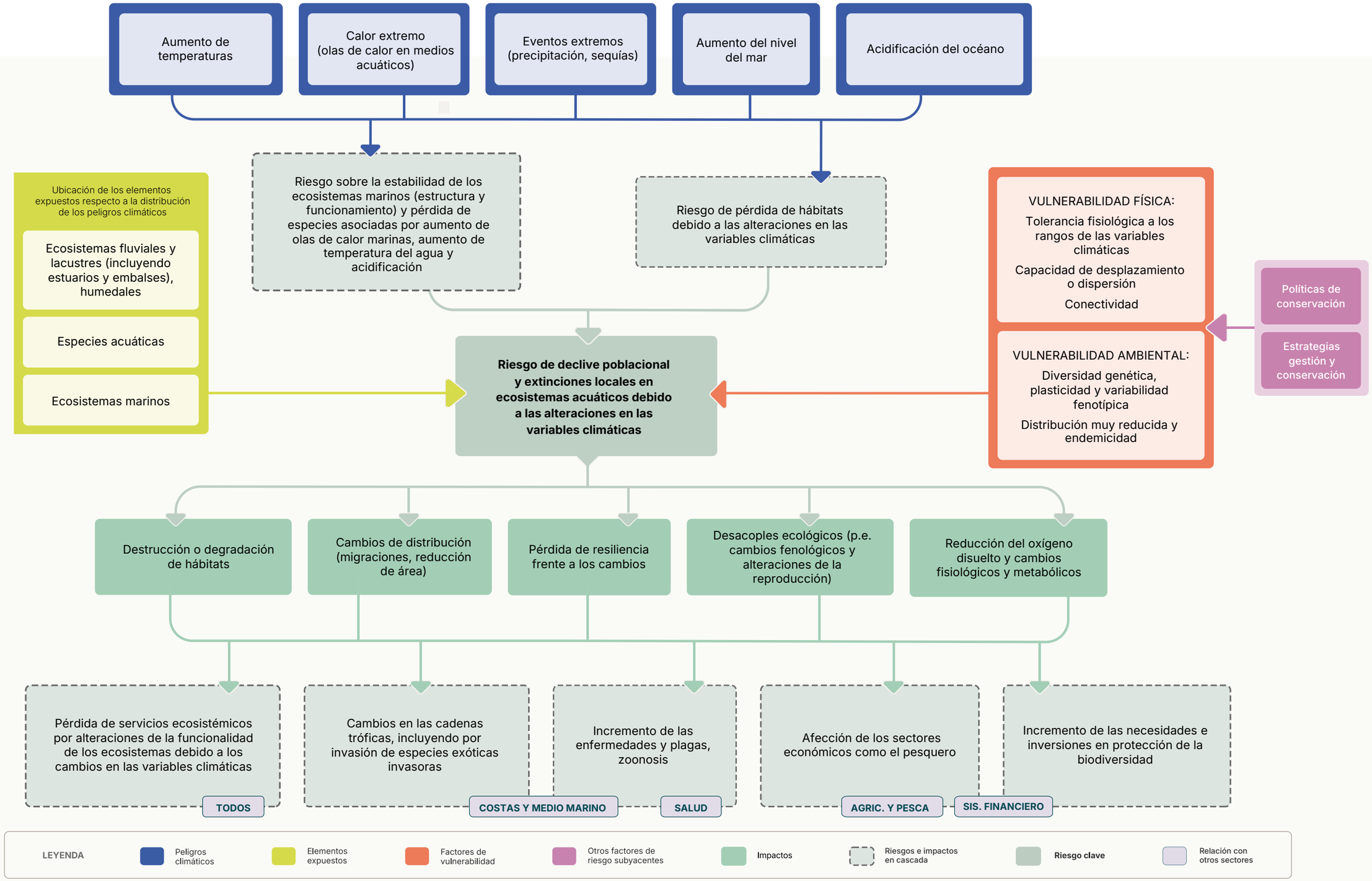


Figura 3. Cadena de impacto. RC3.2. Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.).

la cobertura nival; así como en la frecuencia de sequías prolongadas o lluvias extremas. Otros factores relevantes que afectan al medio marino y costero que en el que no profundizaremos en este capítulo son el incremento del nivel del mar (que puede provocar la inundación de hábitats costeros y la intrusión salina en aguas continentales); la acidificación oceánicos; los cambios en la salinidad (que afectan a especies estuarinas, a otros humedales costeros, y a especies migratorias); y los cambios en la circulación, el oleaje y los afloramientos marinos.

El aumento de las temperaturas es, dentro de los peligros climáticos, uno de los de mayor relevancia por el papel que juega en el medio acuático. Ésta afecta de forma directa e indirecta a los procesos ecológicos esenciales, tanto a nivel fenológico individual como a nivel poblacional o de comunidad. Otros peligros, como aquellas relacionadas con la modificación en los patrones de las precipitaciones, las sequías o las heladas, tienen mayor influencia en ecosistemas continentales acuáticos (sistemas fluviales, lagos, embalses y humedales continentales), que sobre los ecosistemas marinos o de transición (p.ej. ecosistemas estuarinos, marismas mareales y otros humedales costeros).

Todos los ecosistemas acuáticos continentales se encuentran **expuestos** a los peligros del cambio climático en mayor o menor medida. Tal y como se ha especificado para anteriores riesgos clave, el territorio nacional cuenta con una gran diversidad hábitats acuáticos protegidos bajo distintas figuras legales como las reservas de la biosfera, los parques naturales o las áreas protegidas. Estos espacios están sujetos a alteraciones climáticas que pueden afectar tanto a las especies que los habitan como a la estabilidad de sus poblaciones. El Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (IEPNB MITECO, on-line) constituye una fuente de referencia clave para acceder a información útil en la evaluación de sistemas naturales o especies frente a peligros específicos. Este inventario integra una amplia variedad de recursos, como inventarios, catálogos, registros y listados de especies, que permiten caracterizar el estado de conservación y distribución de la biodiversidad en el territorio nacional., La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN para España en 2022 incluye un número significativo de especies acuáticas que están en peligro o amenazadas, entre los que se han identificado varios grupos taxonómicos prioritarios para evaluación, incluyendo peces, crustáceos y otras especies de invertebrados acuáticos.

La extensión de la mayoría de los sistemas de agua dulce no se limita al perímetro de los mismos, sino que incluye la cuenca hidrográfica de la que se extraen el agua y los otros recursos (Hynes, 1975; Naiman & Latterell, 2005). Su ubicación en el paisaje (casi siempre en el fondo de los valles) convierte a los lagos y ríos en «receptores» de residuos, sedimentos y contaminantes en la escorrentía. Sin embargo, carecen del volumen de las aguas marinas abiertas, lo que limita su capacidad para diluir los contaminantes o mitigar otros impactos.

Los ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad son muy vulnerables al cambio climático. Hay indicios de que las especies de agua dulce han experimentado cambios en su distribución en respuesta al cambio climático en las últimas décadas (Heino *et al.*, 2009). Los factores que determinan la **vulnerabilidad** de una especie a los peligros climáticos pueden ser intrínsecos, como su plasticidad fenotípica y su capacidad adaptativa —más reducida en especies endémicas— o la existencia de mecanismos fisiológicos o etológicos de respuesta frente a perturbaciones o extrínsecos, como la existencia de políticas y medidas específicas de conservación, la presión antrópica sobre su hábitat o el estado de conservación de sus poblaciones.

Muchas especies acuáticas tienen un rango ecológico muy estrecho y están adaptadas a condiciones muy específicas (p. ej., temperatura óptima, nivel de nutrientes), esto las hace muy sensibles a cambios rápidos o extremos. Por tanto, las especies acuáticas son especialmente vulnerables al cambio climático por ser en general estenoicas o con baja tolerancia a los cambios de las variables ambientales. La mayoría de las especies acuáticas son ectotermas (su temperatura corporal depende del ambiente), un ligero aumento en la temperatura puede acelerar su metabolismo (más necesidad de alimento), alterar su reproducción, superar sus límites de tolerancia térmica provocando estrés o muerte. En particular, los lagos alpinos que, por contener conjuntos de especies altamente específicas y con tolerancias a los cambios de temperatura (estanotérmicas), suelen considerarse centinelas del cambio climático (Moser *et al.*, 2019). Aunque las especies, como es el caso de los escarabajos acuáticos en Sierra Nevada (Pallarés *et al.*, 2020; Carbonell *et al.*, 2024)., con mayor tolerancia a la temperatura en estos ambientes pueden expandir su distribución al ser más competitivas respecto a otras más restrictivas. El calentamiento y la contaminación modifican la disponibilidad de oxígeno disuelto. Algunas especies tienen movilidad muy limitada (plantas acuáticas, moluscos, peces de agua dulce). Markovic *et al.*, (2017) en su estudio sobre los ecosistemas acuáticos continentales en Europa, destacan los lagos de los Balcanes y las islas del Mediterráneo como los más vulnerables, junto con hasta 573 cuencas lacustres y fluviales que se prevé que tengan una vulnerabilidad «alta» o «muy alta» para la década de 2030. De ellas, menos del 25 % (por superficie) se encuentran dentro de las zonas protegidas actuales, que en general han sido designadas para la conservación terrestre y, por lo tanto, no protegen la biodiversidad de agua dulce.

Estos ecosistemas están sometidos a grandes presiones antrópicas, es por ello que este riesgo puede verse amplificado por otros **riesgos subyacentes** no climáticos como (Dudgeon *et al.*, 2006; Heino *et al.*, 2009; Dudgeon, 2019): la sobreexplotación de recursos (sobrepesca, extracción intensiva de agua dulce); la contaminación y la deposición atmosférica (en especial nitrógeno); la ocupación del espacio fluvial, y las barreras transversales y longitudinales (que provocan cambios de flujo); la introducción de especies exóticas invasoras (incrementando la competencia, depredación o las enfermedades transmitidas por éstas); la reducción o

alteración de los hábitats acuáticos por actividades humanas como actividades agrícolas y ganaderas, infraestructuras hidráulicas, urbanización, etc.). Estas presiones pueden suponer la reducción significativa del tamaño de las poblaciones de especies acuáticas (peces, plantas, invertebrados, etc.) haciéndolas más vulnerables al cambio climático. Los embalses también sirven como «puentes» para la propagación de especies invasoras (Johnson, 2008). Las presas han eliminado las migraciones de salmones en el noroeste de Europa, así como a lo largo de las costas oeste y (especialmente) este de los Estados Unidos (Limburg, & Waldman, 2009). Otras especies migratorias también se han visto afectadas, incluidas las que se desplazan entre ríos como el Congo, el Mekong y el Amazonas y aguas costeras (sábalo, esturión, anguilas y camarones de río) (Winemiller, *et al.*, 2016).

Se prevé que el cambio climático tenga una amplia gama de **impactos** en las poblaciones de animales acuáticos y en quienes dependen de ellas. Entre los impactos observados se encuentran: el creciente cambio en la proporción de sexos entre los peces, los anfibios y las aves acuáticas; el aumento de la eutrofización que podría ser perjudicial para las especies autóctonas y favorecer las invasiones biológicas (proliferación de algas invasoras); cambios negativos en la producción de alimentos (animales acuáticos silvestres y cautivos); cambios fisicoquímicos del agua derivados del cambio climático, como la falta de oxígeno disuelto; cambios en la calidad del agua de los ecosistemas fluviales y lacustres por escasez de agua dulce por descenso de las precipitaciones (nieve y lluvia) y aumento de la erosión del suelo por lluvias torrenciales.

La huella del cambio climático global ya es evidente (Sheffers *et al.*, 2016), 23 de los 31 procesos ecológicos de agua dulce medidos muestran signos de alteración. Por ejemplo, si las masas de agua se calientan demasiado para las especies acuáticas y estas no pueden adaptarse, será necesario que se dispersen hacia hábitats más fríos (a mayor altitud o más al norte), con las limitaciones que imponen la topografía, la disponibilidad de hábitats río arriba, la presencia de presas, etc. Esta dispersión será especialmente difícil para las especies lacustres aisladas que no pueden dispersarse por tierra o a través de las redes fluviales. El grado de desplazamiento necesario para adaptarse los niveles de calentamiento máximos previsto para el próximo siglo parece insuperable para la mayoría de los animales de agua dulce (Bickford *et al.*, 2010). Las interacciones entre los peligros climáticos y no-climáticos no son independientes, por ejemplo, el aumento de las temperaturas puede incrementar la toxicidad de los contaminantes (Wang *et al.*, 2019), mientras que una mayor extracción de agua por parte de los seres humanos y el cambio climático podrían reducir la capacidad de los ríos para diluir los contaminantes. La regulación del caudal y la contaminación transforman las condiciones del hábitat de manera que favorecen a las especies invasoras, que suelen ser más tolerantes que las autóctonas y pueden verse favorecidas por el cambio climático (Strayer, 2010).

En términos generales, los sistemas acuáticos continentales y sus biotas exhiben una condición desfavorable a nivel global como resultado de la interacción de los peligros descritos, junto con los elementos expuestos y su vulnerabilidad, con un panorama particularmente crítico en el contexto ibérico (Sayer *et al*., 2025). En este estudio en la Península Ibérica, se han documentado impactos en las poblaciones de especies acuáticas que incluyen la anguila (*Anguilla anguilla*) y el salmón (*Salmo salar*). Así como en las especies endémicas, tales como los ciprinodóntidos (Samaruc, Fartet y Salenite), el jarabugo y diferentes especies de los géneros *Squalius y Cobitis*. Torresblanca el al., (2025), analizaron las especies recién registradas en dos demarcaciones españolas (la zona levantina-balear y el estrecho de Gibraltar y el mar de Alborán) encontrando que un total de 25 nuevos registros con que habitualmente se encuentran en aguas cálidas que sugieren una clara tropicalización del Mediterráneo.

Este riesgo conlleva una serie de impactos asociados que afectan principalmente a especies con baja tolerancia a los cambios de las variables climáticas o capacidad de adaptación, pero que pueden extenderse a otros sectores, como el turismo (si se afectan especies emblemáticas asociadas al ecoturismo). Si se trata de especies estructurales que forman hábitats esenciales o brindan protección frente a eventos climáticos, e incluso la salud pública, en caso de que desaparezcan especies depredadoras de otras que pueden representar un riesgo para los seres humanos.

La **Figura 3** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco conceptual, y sobre él actúan tanto los peligros climáticos como otros factores que potencian el riesgo. A partir de este riesgo se identifican los impactos potenciales y los efectos en cascada, que pueden afectar directamente al sector analizado o estar interrelacionados con otros sectores, reflejando así la naturaleza sistémica del riesgo climático.

Ficha 2. Análisis del Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.).

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio Plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Crítica	Crítica	Catastrófica
	Según IPCC AR6 (IPCC WGII, 2022), el nivel de riesgo es sustancial con el calentamiento actual; con muchas especies acuáticas (marinas y de agua dulce) ya muestran descensos en sus poblaciones y extinciones locales relacionadas con el calentamiento, la desoxigenación y la acidificación de los océanos. En las últimas décadas, según las evaluaciones de la IUCN para España, un 31 %; y los peces continentales y los anfibios presentan el mayor porcentaje de especies en peligro (55 % y 31 %, respectivamente) algunos endémicos. También, se han observado cambios de distribución y poblacionales (Anadón *et al.*, 2009; Gorostiaga *et al.*, 2011; Martinez *et al.*, 2015; Duaarte *et al.*, 2013; Sanz & Galan, 2021).	Según IPCC AR6 (IPCC WGII, 2022), el nivel de riesgo es sustancial alto, se espera un aumento considerable de las extinciones locales de peces e invertebrados, especialmente en los trópicos, disminución de los arrecifes de coral > 70-90 %, colapso de los bosques de algas marinas y praderas marinas en algunas regiones. Desplazamientos de especies (tropicalización) que cambian la composición de comunidades, lo cual puede llevar a extinciones locales si las especies frías no encuentran refugio.	Según IPCC AR6 (IPCC WGII, 2022), el nivel de riesgo sería crítico, se espera 99 % de los arrecifes de coral cálidos desaparecerían, muchas especies de peces de agua dulce perderían más del 50 % de su hábitat climático, y las extinciones locales aumentan de manera exponencial con el calentamiento.	Según IPCC AR6 (IPCC WGII, 2022), el nivel de riesgo sería catastrófico, con un colapso generalizado de los ecosistemas marinos y de agua dulce" con pérdida irreversible de biodiversidad. Y la extinción a gran escala de especies endémicas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio Plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio
	No existen estudios agregados a nivel nacional sobre pérdida de biodiversidad. Se dispone de estudios globales muy agregados (en aves ver Matthews *et al*., 2024) o estudios en áreas muy concretas (regresión de especies de algas marianas en las costas atlánticas ver Martínez *et al*., 2015).	No hay datos agregados para las especies amenazadas a nivel nacional., Muchos de los estudios existentes no actualizados a los escenarios actuales. Podría agravarse la situación de las especies amenazadas o en estado crítico de manera sustancial en particular en las CCAA insulares y los ecosistemas de montaña.	No hay datos agregados para las especies a nivel nacional, pero existe una percepción significativa del riesgo basada en estudios concretos para ecosistemas y localizaciones específicas. Muchos de los estudios existentes no actualizados a los escenarios actuales.	Aunque, no hay datos agregados para las especies, pero existe una percepción significativa del riesgo basada en estudios concretos para ecosistemas y localizaciones específicas y el conocimiento de los límites ecológicos de las especies. Muchos de los estudios existentes no actualizados a los escenarios actuales.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incremento de las temperaturas del aire y el agua y fenómenos extremos relacionados (olas de calor, sequías). • Inundación de zonas costeras por subida del nivel del mar. • Inundaciones fluviales y pluviales debido a precipitaciones extremas. • Modificación de las características de agua marina (salinidad, pH).	• Ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales. • Ecosistemas marinos y costeros. • Ecosistemas terrestres, incluyendo agro-sistemas y ecosistemas urbanos. • Especies de flora y fauna, microorganismos.	• Capacidad de desplazamiento o dispersión (puedes estar dificultada por la fragmentación del hábitat). • Diversidad genética, plasticidad y variabilidad fenotípica. • Tolerancia fisiológica a los rangos de las variables climáticas. • Distribución reducida y endemicidad. • Conectividad. Factores subyacentes: • Políticas de conservación. • Estrategias de gestión y conservación.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La Unión Europea ha abordado la importancia de considerar los efectos transfronterizos de la pérdida de biodiversidad promoviendo la cooperación entre Estados miembros y la implementación de políticas integradas para la conservación de la biodiversidad en diversos documentos, como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por La Que Se Modifica La Directiva 2011/92/UE, Relativa a La Evaluación de Las Repercusiones de Determinados Proyectos Públicos y Privados sobre El Medio Ambiente., 2014).
Territoriales	Los impactos derivados de este riesgo ocurren de manera desigual en el territorio español dada la variabilidad climática de España. Se puede considerar que las regiones del sur son potencialmente más vulnerables debido a la existente escasez de agua y las altas temperaturas, lo que supone que muchos procesos ecológicos se encuentren próximos a sus límites de tolerancia. Regiones del sureste presentan una mayor exposición debido a la escasez hídrica y las altas temperaturas. Además, las zonas costeras enfrentan riesgos elevados debido al aumento del nivel del mar, la erosión costera y la salinización de los acuíferos.
Sociales	Los grupos sociales más susceptibles serán aquellos asociados a actividades primarias dependientes de recursos naturales, como la agricultura o la pesca, donde la producción y capturas pueden verse afectadas directamente por cualquier cambio en los procesos ecológicos esenciales (p.ej. declives poblacionales, migraciones o desfase entre ciclos de vida de polinizadores y cultivos).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	La complejidad de ciertos procesos ecológicos hace que la información existente no sea suficiente para caracterizar apropiadamente el riesgo, lo que genera una incertidumbre en la viabilidad a largo plazo de medidas de adaptación activa, como, por ejemplo, las restauraciones.
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Dada la complejidad de las relaciones funcionales y procesos de los ecosistemas afectados, es difícil establecer umbrales críticos para cada uno, y en muchos casos, están condicionadas por interacciones complejas que dificultan aún más análisis. Sin embargo, para algunas especies existen curvas de tolerancia, desarrolladas a través de experimentación o modelado, a diferentes variables climáticas/ambientales que pueden utilizarse como aproximaciones de umbrales (de la Hoz *et al.*, 2019).
Lock-in/Bloqueo	Una vez se superan determinados límites fisiológicos, hasta el punto de que se pierdan ciertas especies, funciones o procesos dentro de la comunidad, las medidas de adaptación se vuelven mucho más complejas pues requieren una restauración del funcionamiento ecológico del sistema. Por otro lado, la restauración de grandes espacios para reducir la fragmentación de hábitats podría entrar en conflicto con otros sectores. Por ejemplo, la existencia de concesiones para actividades en la costa puede limitar la capacidad de adaptación de la zona. También se pueden producir por desacoples de las variables climáticas con el ciclo de vida de las especies. Por ejemplo, muchas especies migratorias ajustan su comportamiento al clima (temperatura, disponibilidad de agua o alimento), y si los cambios climáticos alteran el momento de floración o abundancia de presas, las aves llegan demasiado pronto o tarde produciéndose un lockout migratorio, con pérdida de éxito reproductivo o mortalidad elevada.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo destacan las siguientes estrategias y planes: • Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020). Entre sus acciones clave se encuentra recuperar ecosistemas esenciales e implementar soluciones basadas en la naturaleza para mitigar y adaptarse al cambio climático. • Directiva Hábitats (92/43/CEE): Protección de hábitats naturales y especies de interés comunitario. • Directiva Aves (2009/147/CE): Conservación de aves silvestres y sus hábitats. • Red Natura 2000: Red ecológica europea que incluye Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). • Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021). Una de sus acciones relevantes es promocionar la gestión sostenible del agua, bosques y suelos para mejorar su capacidad de adaptación. • Pacto Verde Europeo (2019). Una de sus líneas de acción es integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en todas las políticas de la UE.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• La Ley de Restauración de la Naturaleza de la UE es el primer marco normativo europeo tiene como objetivo restaurar al menos el 20 % de las áreas terrestres y marinas degradadas en la UE para 2030, y alcanzar la totalidad de los ecosistemas que necesiten restauración para 2050. A nivel nacional destaca la siguiente normativa: • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020). Recoge acciones de identificación de servicios ecosistémicos y evaluación de su sensibilidad frente al cambio climático y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza. • Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (última actualización 31/12/20). Modificada por Ley 33/2015, que refuerza medidas frente a especies exóticas invasoras y promueve la restauración ecológica. • Ley 41/2010, de 29 de diciembre de Protección del Medio Marino. • Plan estratégico estatal del patrimonio natural y de la biodiversidad a 2030, aprobado por el Real Decreto 1057/2022 desarrollado en conformidad con lo previsto en el artículo 13 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de protección y Conservación del Patrimonio Natural y la Biodiversidad. • Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (2021). Su objetivo es conservar y restaurar los ecosistemas para garantizar la provisión sostenible de servicios ecosistémicos, mediante la creación de redes de áreas protegidas conectadas para facilitar la migración de especies, la restauración de hábitats y el desarrollo de planes de ordenación que priorice la protección de servicios ecosistémicos esenciales. • Ley 7/2021, de 20 de mayo de Cambio Climático y Transición Energética. Obliga a incluir la protección de los servicios ecosistémicos en todas las políticas relacionadas con el cambio climático. Además, existen estrategias específicas para ecosistemas clave. • Plan Estratégico de Humedales 2030 (2022) para fomentar la conservación de humedales como amortiguadores de fenómenos extremos. • Estrategia Forestal Española horizonte 2050 (2022), Plan Forestal Español (2022-2032) y Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (2022), para incentivar la reforestación adaptativa con especies resistentes al estrés hídrico y térmico. • Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2016), centrada en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera.
Gobernanza de gestión del riesgo	En cuanto a la gobernanza vertical se diferencian tres niveles administrativos. A nivel nacional: • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): responsable del diseño e implementación de políticas de cambio climático y conservación de la biodiversidad. • Confederaciones Hidrográficas: Desarrollo de medidas para mantener la funcionalidad ecosistémica de los ríos. A nivel autonómico, las Comunidades Autónomas con competencias en gestión de recursos naturales, ordenación del territorio, planificación forestal y gestión de espacios protegidos. A nivel local, los ayuntamientos y diputaciones provinciales responsables de la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el ámbito local.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación, genéricas para todos los elementos del Patrimonio Natural, incluyen: • Un aumento del peso del elemento biodiversidad en los procesos de toma de decisiones con el objetivo de reducir las presiones externas sobre el mismo. Por ejemplo, la promoción de una ganadería y agricultura extensiva (frente a prácticas intensivas), lo que contribuye a reducir la fragmentación del hábitat. • Incremento en el número y desarrollo de las figuras de protección del medio natural, lo que contribuye a garantizar la conectividad en zonas clave o con elementos vulnerables. Incluye la identificación de refugios climáticos. • Implementación de soluciones basadas en la naturaleza, que contribuyen a mantener la heterogeneidad de los hábitats y la conectividad de los mismos, mientras garantizan la provisión del servicio. • Medidas de restauración de hábitats contribuyen a aumentar la resiliencia de ecosistemas perturbados frente a los impactos del cambio climáticos.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Negativo: Los impactos derivados de las perturbaciones en procesos ecológicos clave pueden derivar en declives de ecosistemas relevantes desde el punto de vista del ciclo del carbono, como bosques, humedales, praderas marinas o turberas, reduciéndose su potencial como sumideros de carbono. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Positivo: Reducir la presión del cambio climático sobre los ecosistemas aumenta el potencial de las especies para desarrollar mecanismos de adaptación, y, por tanto, contribuye a reducir el riesgo de que los procesos ecológicos se vean afectados de forma irreversible.
Déficits de información	• No se dispone de información actualizada y homogénea de la extensión, estado y funcionalidad de muchos ecosistemas. Esta falta de información puede hacer que se pasen por alto determinados elementos involucrados en los procesos clave. • Escasa información sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas tras perturbaciones. • Los impactos en cascada, aunque identificados, no están bien caracterizados. • Falta información relativa a umbrales críticos para algunos procesos, especies y variables climáticas. • La interacción entre diferentes peligros y sus efectos sobre los procesos ecológicos es compleja y difícil de caracterizar, lo que hace que la información disponible sea insuficiente.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.3. RC3.3: Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas

Estos cambios o perturbaciones de los procesos ecológicos pueden venir motivados por efectos directos a nivel individuo, como, por ejemplo, impactos fisiológicos y fenológicos; a nivel poblacional, afectando su composición y estructura; o a nivel de especie, manifestándose principalmente a través de modificaciones en la distribución. Estos procesos ecológicos esenciales, como el propio término indica, son críticos para el correcto funcionamiento de los sistemas naturales y, por tanto, cualquier modificación de los mismos va a tener consecuencias en todo el sistema, incluyendo los servicios ecosistémicos, lo que a su vez puede generar efectos distributivos o en cascada sobre otros sectores. Sin embargo, es importante resaltar que los efectos generados por el clima sobre los procesos ecológicos son dependientes de la especie considerada, y, de este modo, es probable que ciertas especies o comunidades se vean favorecidas en detrimento de otras, lo que aumenta la complejidad del análisis.

El aumento de las temperaturas es, dentro de los **peligros climáticos**, el de mayor relevancia por el papel que juega tanto en el medio terrestre como en el acuático. Otros peligros, el aumento o reducción de las precipitaciones, sequía o las heladas, tienen mayor influencia en ecosistemas continentales (terrestres y aquellos de agua dulce). Mientras que las olas de calor marino y la acidificación de los océanos la tienen sobre los ecosistemas marinos o de transición (p.ej. ecosistemas estuarinos). Las inundaciones fluviales y costeras también representan un peligro climático que puede perturbar procesos ecológicos esenciales.

Tal y como se ha especificado para anteriores riesgos clave, la Península Ibérica y los territorios Insulares de nuestro país cuenta con una gran diversidad de ecosistemas que albergan una enorme diversidad de especies (ver RC 4.1, RC4.2). Muchos de ellos amparados bajo diferentes figuras de protección como, por ejemplo, las reservas de la biosfera, los parques naturales o las áreas protegidas que están **expuestos** a alteraciones climáticas que puede alterar su funcionalidad debido a cambios fenológicos y otros factores asociados.

Como se ha comentado anteriormente, los factores que determinan la **vulnerabilidad** de una especie a los efectos del cambio climático pueden ser intrínsecos, como la capacidad adaptativa de la especie en cuestión; o bien, extrínsecos, referentes al estado de conservación de su hábitat, presiones sobre el mismo, etc.

Dentro de los factores extrínsecos, el grado de fragmentación y la falta de conectividad de los hábitats es, probablemente, uno de los elementos clave a la hora de entender la vulnerabilidad de los procesos migratorios, pues controla en gran medida la capacidad de desplazamiento de las especies en busca de condiciones más favorables. En este sentido, hábitats muy fragmentados o con un carácter insular por naturaleza (como pueden ser los sistemas alpinos) limitan la conexión entre los remanentes de hábitat, lo que aumenta la vulnerabilidad de las especies que los habitan y, por tanto, de todos los procesos ecológicos asociados (p. ej., desequilibrios dentro de la cadena trófica). Existe evidencia sólida de la importancia inesperada de reducir la fragmentación del hábitat, para retrasar las respuestas de especies de mariposa sensibles al aumento de la frecuencia de las sequías en el contexto del cambio climático (Oliver *et al.*, 2015). También, la baja tolerancia fisiológica, plasticidad fenotípica o falta de mecanismos de compensación demográfica que pueden a ayudar a persistir localmente a determinadas comunidades con baja capacidad de movimiento y dispersión son elementos de vulnerabilidad. Estudios recientes apuntan a que los cambios adaptativos de las especies para reducir estas vulnerabilidades probablemente no ocurrirán a la velocidad necesaria para contrarrestar los efectos del cambio climático (Parmesan *et al.*, 2015). La endemicidad también representa un elemento de vulnerabilidad, por ejemplo, Manes *et al.*, (2021) encontraron que las especies endémicas terrestres de las zonas ricas en islas y montañas corrían un riesgo mucho mayor de sufrir los efectos del cambio climático que las zonas continentales.

Dentro de los **impactos**, las migraciones y los cambios de distribución o los cambios fenológicos de las especies son de las más conocidos. Existen múltiples estudios que han identificado modificaciones en los límites de distribución en una gran variedad de organismos, generalmente motivados por el aumento de las temperaturas. Estas modificaciones son diversas, aunque el patrón más frecuente se corresponde con una regresión de los límites sur de la distribución, como, por ejemplo, los observados en algunas especies de plantas y macroalgas (Franco *et al.*, 2018). La expansión del límite norte de distribución también es un proceso que ha sido observado para algunas especies, especialmente móviles (Massimino *et al.*, 2015). Esto tiene implicaciones importantes a nivel nacional, puesto que la Península Ibérica supone el límite de distribución sur de muchas especies terrestres y acuáticas, por lo que cualquier modificación de estos límites de distribución generaría una importante reconfiguración de las comunidades. En este sentido, existen evidencias que apuntan hacia un reemplazo de especies con una afinidad térmica más fría por especies de afinidad térmica más cálida (de Azevedo *et al.*, 2023).

Por otro lado, en algunas comunidades marinas, como, por ejemplo, las de fondos rocosos dominados por macroalgas, se está observando además una transición desde sistemas complejos con especies estructurantes que albergan gran diversidad de fauna y flora (p.ej. los bosques de kelps), hacia sistemas más simples dominados por especies de menor complejidad estructural (Filbee-Dexter *et al.*, 2018). Esta transición también ha sido previamente observada en algunas

comunidades de agua dulce, aunque en este caso ligada a periodos prolongados de sequía, dónde las especies de macrófitos existentes están siendo reemplazadas por especies oportunistas (Lake, 2011). Este reemplazo además tiene consecuencias indirectas en términos de biodiversidad, puesto que los detritos producidos por la vegetación acuática se acumulan en el cauce y mantienen las condiciones de humedad necesarias para el mantenimiento de otras comunidades durante las épocas de sequía o menor caudal., Las especies oportunistas, que crecen más rápido pero también degradan más rápido, hace que se pierda parte de este potencial refugio (Lake, 2011).

Estos procesos de transición pueden venir asociados a desequilibrios en la estacionalidad de algunos procesos biológicos clave, que generan disrupciones en las interacciones entre especies, así como alteraciones en la estructura y funciones del ecosistema. Por ejemplo, existen algunos estudios que señalan cómo los cambios estacionales y los eventos extremos, podrían estar generando un potencial desfase en los ciclos de vida de algunas plantas, incluidos los cultivos, y en los de insectos polinizadores (Kudo *et al.*, 2013; Vasiliev *et al.*, 2021), lo que podría tener consecuencias negativas en sectores asociados como el agrícola. De forma general, estos cambios estacionales están motivando un avance de los eventos que ocurren en primavera o un retraso de los eventos otoñales, lo que podría alargar las fases de crecimiento de algunas especies con consecuencias para la productividad, y, por tanto, para los servicios ecosistémicos asociados (p.ej. el secuestro de carbono). Estos desfases estacionales también tienen impactos significativos sobre el proceso migratorio de especies migratorias como el salmón (Otero *et al.*, 2014).

El riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas puede verse agravado por otros **riesgos subyacentes**. La expansión o la necesidad de adaptación de ciertos sectores económicos o tecnológicos, como puede ser el sector agrícola, el turismo o la industria y que, por tanto, tienen una influencia directa sobre los usos del suelo, puede ejercer una presión adicional sobre estos procesos. Del mismo modo, existe también un riesgo de gobernanza en lo relativo al desarrollo de nuevas políticas que afecten a los usos del suelo o bien a la gestión del gasto en conservación.

La cadena de impacto desarrollada para este riesgo clave se recoge en la **Figura 4**, y en ella se reflejan los principales peligros climáticos, los elementos que conforman el grado de exposición, así como los factores que contribuyen a la vulnerabilidad del sistema. El riesgo clave, situado en el centro del marco, deriva en una serie de impactos, que a su vez pueden generar riesgos adicionales en cascada interrelacionados con otros sectores.

Todos estos cambios generan una serie de **impactos en cascada** que pueden llegar a afectar a otros sectores relevantes. La pérdida de biodiversidad no necesariamente ocurre de forma directa, esto ocurre cuando estas variaciones climáticas superan un determinado límite de tolerancia, bien

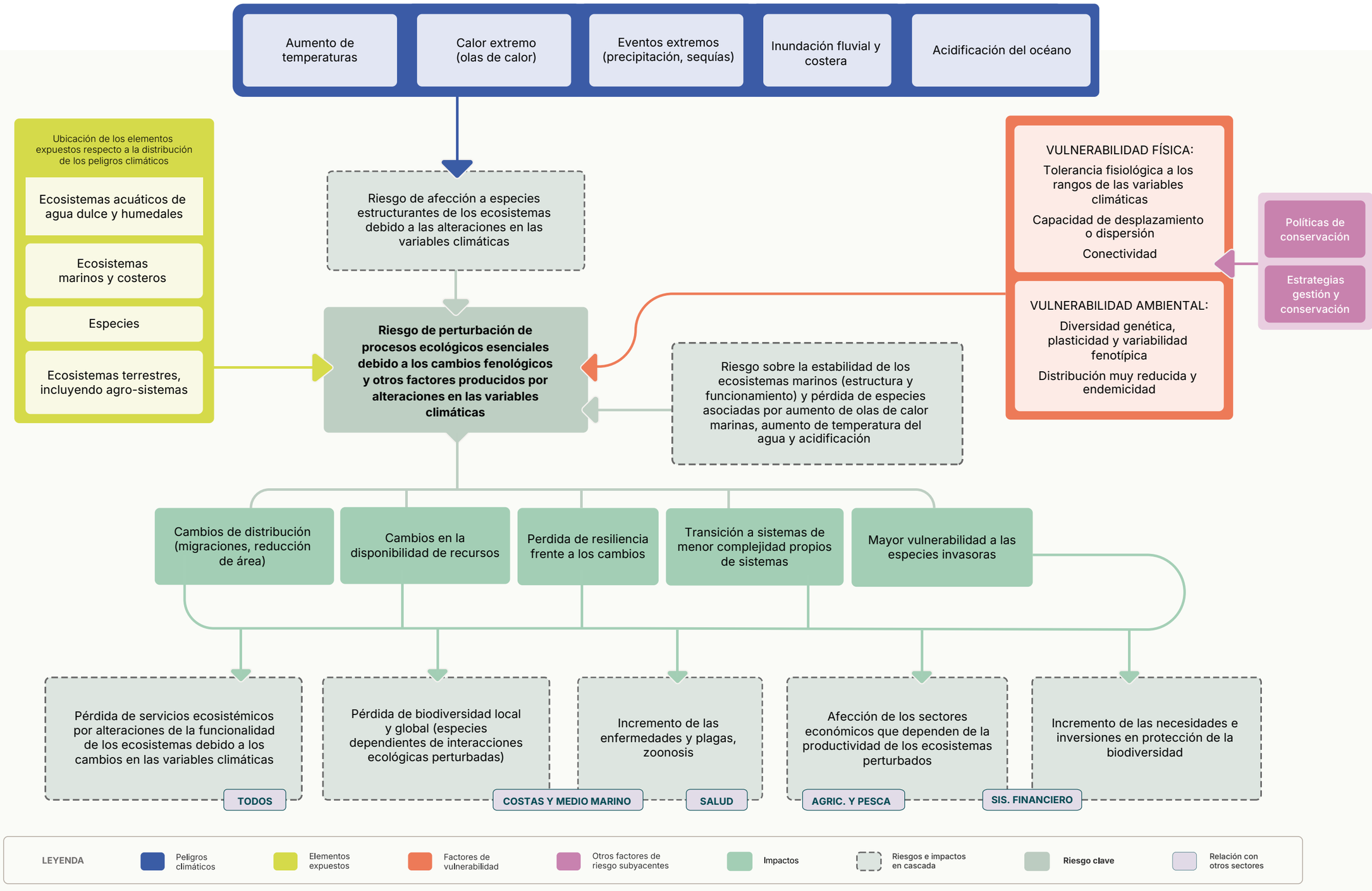


Figura 4. Cadena de impacto. RC3.3. Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.

por el aumento de la magnitud del evento en cuestión, o por su frecuencia o duración, generando impactos irreversibles. La pérdida de servicios ecosistémicos es un claro ejemplo asociado a la disminución de la biodiversidad. Cualquier impacto sobre los servicios ecosistémicos proporcionados por un determinado sistema, además va a tener repercusiones en el sector económico, al ser parte de las actividades dependientes de los mismos. Esto, a su vez, puede tener consecuencias sociales, especialmente en comunidades muy dependientes de los recursos naturales (p.ej. comunidades pesqueras o agrícolas), dónde podría disminuir la calidad de vida de la comunidad por la escasez de recursos, especialmente cuando no existen alternativas de adaptación. El incremento del gasto en conservación, incluyendo las restauraciones, es otro de los impactos en cascada identificados, siendo especialmente relevante en aquellas comunidades donde se espera que se vayan a sobrepasar los límites de tolerancia de los procesos clave. Por último, el desajuste o desequilibrio fenológico, así como de las interacciones entre especies puede crear oportunidades para organismos parásitos y enfermedades, y, por tanto, favorecer el desarrollo de plagas.

Ficha 3. Análisis del riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio Plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Crítica	Crítica	Catastrófica
	Las alteraciones fenológicas y la desincronización entre especies interdependientes son ya generalizadas, en especial en el Mediterráneo (IPCC WGII, 2022). Evidencias de tropicalización del mar Mediterráneo (Torreblanca *et al.*, 2025; Sanz & Galan, 2021). En España ya se han observado cambios fenológicos y desincronización entre especies (Otero *et al.*, 2024) y cambios de distribución y poblacionales (Kerr *et al.*, 2015; Anadón *et al.*, 2009; Gorostiaga *et al.*, 2011; Martínez *et al.*, 2015).	Riesgo creciente de colapso funcional en ecosistemas sensibles (IPCC WGII, 2022).	Pérdida de sincronía entre especies interdependientes, colapso de funciones (IPCC WGII, 2022).	Pérdida irreversible de funciones ecológicas y servicios ecosistémicos (IPCC WGII, 2022).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio Plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio
	Muchas evidencias, pero no de todos los ecosistemas o cadenas tróficas. Limitadas para poder generalizar a todo el territorio, como consecuencia de las características intrínsecas de las especies, poblaciones y comunidades.	Es difícil predecir este riesgo porque la representación de los complejos procesos ecológicos en los modelos de predicción de impactos del cambio climático es limitada. Además, existe escasez y heterogeneidad en los datos disponibles para alimentar los modelos.	Es difícil predecir este riesgo porque la representación de los complejos procesos ecológicos en los modelos de predicción de impactos del cambio climático es limitada. Además, existe escasez y heterogeneidad en los datos disponibles para alimentar los modelos.	Es difícil predecir este riesgo porque la representación de los complejos procesos ecológicos en los modelos de predicción de impactos del cambio climático es limitada. Más aún para eventos o cambios disruptivos. Además, existe escasez y heterogeneidad en los datos disponibles para alimentar los modelos.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incremento de las temperaturas del aire y el agua y fenómenos extremos relacionados (olas de calor, sequías). • Inundación de zonas costeras por subida del nivel del mar. • Inundaciones fluviales y pluviales debido a precipitaciones extremas. • Modificación de las características de agua marina (salinidad, pH).	• Ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales. • Ecosistemas marinos y costeros. • Ecosistemas terrestres, incluyendo agro-sistemas y ecosistemas urbanos. • Especies de flora y fauna, microorganismos.	• Capacidad de desplazamiento o dispersión (puedes estar dificultada por la fragmentación del hábitat). • Diversidad genética, plasticidad y variabilidad fenotípica. • Tolerancia fisiológica a los rangos de las variables climáticas. • Distribución reducida y endemicidad. • Conectividad. Factores subyacentes: • Políticas de conservación. • Estrategias de gestión y conservación.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La Unión Europea ha abordado la importancia de considerar los efectos transfronterizos de la pérdida de biodiversidad promoviendo la cooperación entre Estados miembros y la implementación de políticas integradas para la conservación de la biodiversidad en diversos documentos, como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por La Que Se Modifica La Directiva 2011/92/UE, Relativa a La Evaluación de Las Repercusiones de Determinados Proyectos Públicos y Privados sobre El Medio Ambiente, 2014).
Territoriales	Los impactos derivados de este riesgo ocurren de manera desigual en el territorio español dada la variabilidad climática de España. Se puede considerar que las regiones del sur son potencialmente más vulnerables debido a la existente escasez de agua y las altas temperaturas, lo que supone que muchos procesos ecológicos se encuentren próximos a sus límites de tolerancia. Regiones del sureste presentan una mayor exposición debido a la escasez hídrica y las altas temperaturas. Además, las zonas costeras enfrentan riesgos elevados debido al aumento del nivel del mar, la erosión costera y la salinización de los acuíferos.
Sociales	Los grupos sociales más susceptibles serán aquellos asociados a actividades primarias dependientes de recursos naturales, como la agricultura o la pesca, donde la producción y capturas pueden verse afectadas directamente por cualquier cambio en los procesos ecológicos esenciales (p.ej. declives poblacionales, migraciones o desfase entre ciclos de vida de polinizadores y cultivos).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	La complejidad de ciertos procesos ecológicos hace que la información existente no sea suficiente para caracterizar apropiadamente el riesgo, lo que genera una incertidumbre en la viabilidad a largo plazo de medidas de adaptación activa, como, por ejemplo, las restauraciones.
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Dada la complejidad de las relaciones funcionales y procesos de los ecosistemas afectados, es difícil establecer umbrales críticos para cada uno, y en muchos casos, están condicionadas por interacciones complejas que dificultan aún más análisis. Sin embargo, para algunas especies existen curvas de tolerancia, desarrolladas a través de experimentación o modelado, a diferentes variables climáticas/ambientales que pueden utilizarse como aproximaciones de umbrales (de la Hoz *et al.*, 2019).
Lock-in/Bloqueo	Una vez se superan determinados límites fisiológicos, hasta el punto de que se pierdan ciertas especies, funciones o procesos dentro de la comunidad, las medidas de adaptación se vuelven mucho más complejas pues requieren una restauración del funcionamiento ecológico del sistema. Por otro lado, la restauración de grandes espacios para reducir la fragmentación de hábitats podría entrar en conflicto con otros sectores. Por ejemplo, la existencia de concesiones para actividades en la costa puede limitar la capacidad de adaptación de la zona. También se pueden producir por desacoples de las variables climáticas con el ciclo de vida de las especies. Por ejemplo, muchas especies migratorias ajustan su comportamiento al clima (temperatura, disponibilidad de agua o alimento), y si los cambios climáticos alteran el momento de floración o abundancia de presas, las aves llegan demasiado pronto o tarde produciéndose un lockout migratorio, con pérdida de éxito reproductivo o mortalidad elevada.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo destacan las siguientes estrategias y planes: • Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020). Entre sus acciones clave se encuentra recuperar ecosistemas esenciales e implementar soluciones basadas en la naturaleza para mitigar y adaptarse al cambio climático. • Directiva Hábitats (92/43/CEE): Protección de hábitats naturales y especies de interés comunitario. • Directiva Aves (2009/147/CE): Conservación de aves silvestres y sus hábitats. • Red Natura 2000: Red ecológica europea que incluye Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). • Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021). Una de sus acciones relevantes es promocionar la gestión sostenible del agua, bosques y suelos para mejorar su capacidad de adaptación. • Pacto Verde Europeo (2019). Una de sus líneas de acción es integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en todas las políticas de la UE.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• La Ley de Restauración de la Naturaleza de la UE es el primer marco normativo europeo tiene como objetivo restaurar al menos el 20 % de las áreas terrestres y marinas degradadas en la UE para 2030, y alcanzar la totalidad de los ecosistemas que necesiten restauración para 2050. A nivel nacional destaca la siguiente normativa: • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020). Recoge acciones de identificación de servicios ecosistémicos y evaluación de su sensibilidad frente al cambio climático y la promoción de soluciones basadas en la naturaleza. • Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Modificada por Ley 33/2015, que refuerza medidas frente a especies exóticas invasoras y promueve la restauración ecológica. • Ley 41/2010, de 29 de diciembre de Protección del Medio Marino. • Plan estratégico estatal del patrimonio natural y de la biodiversidad a 2030, aprobado por el Real Decreto 1057/2022, desarrollado en conformidad con lo previsto en el artículo 13 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre de Protección y Conservación del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. • Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas. Su objetivo es conservar y restaurar los ecosistemas para garantizar la provisión sostenible de servicios ecosistémicos, mediante la creación de redes de áreas protegidas conectadas para facilitar la migración de especies, la restauración de hábitats y el desarrollo de planes de ordenación que priorice la protección de servicios ecosistémicos esenciales. • Ley 7/2021, de 20 de mayo de Cambio Climático y Transición Energética. Obliga a incluir la protección de los servicios ecosistémicos en todas las políticas relacionadas con el cambio climático. Además, existen estrategias específicas para ecosistemas clave: • Plan Estratégico de Humedales 2030 (2022) para fomentar la conservación de humedales como amortiguadores de fenómenos extremos. • Estrategia Forestal Española horizonte 2050 (2022), Plan Forestal Español (2022-2032) y Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (2022), para incentivar la reforestación adaptativa con especies resistentes al estrés hídrico y térmico. • Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2016), centrada en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera.
Gobernanza de gestión del riesgo	En cuanto a la gobernanza vertical se diferencian tres niveles administrativos. A nivel nacional: • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): responsable del diseño e implementación de políticas de cambio climático y conservación de la biodiversidad. • Confederaciones Hidrográficas: Desarrollo de medidas para mantener la funcionalidad ecosistémica de los ríos. A nivel autonómico, las Comunidades Autónomas con competencias en gestión de recursos naturales, ordenación del territorio, planificación forestal y gestión de espacios protegidos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	A nivel local, los ayuntamientos y diputaciones provinciales responsables de la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el ámbito local.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación, genéricas para todos los elementos del Patrimonio Natural, incluyen: • Un aumento del peso del elemento biodiversidad en los procesos de toma de decisiones con el objetivo de reducir las presiones externas sobre el mismo. Por ejemplo, la promoción de una ganadería y agricultura extensiva (frente a prácticas intensivas), lo que contribuye a reducir la fragmentación del hábitat. • Incremento en el número y desarrollo de las figuras de protección del medio natural, lo que contribuye a garantizar la conectividad en zonas clave o con elementos vulnerables. Incluye la identificación de refugios climáticos. • Implementación de soluciones basadas en la naturaleza, que contribuyen a mantener la heterogeneidad de los hábitats y la conectividad de los mismos, mientras garantizan la provisión del servicio. • Medidas de restauración de hábitats contribuyen a aumentar la resiliencia de ecosistemas perturbados frente a los impactos del cambio climáticos.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización • Negativo: Los impactos derivados de las perturbaciones en procesos ecológicos clave pueden derivar en declives de ecosistemas relevantes desde el punto de vista del ciclo del carbono, como bosques, humedales, praderas marinas o turberas, reduciéndose su potencial como sumideros de carbono. Impacto de la descarbonización en el riesgo • Positivo: Reducir la presión del cambio climático sobre los ecosistemas aumenta el potencial de las especies para desarrollar mecanismos de adaptación, y, por tanto, contribuye a reducir el riesgo de que los procesos ecológicos se vean afectados de forma irreversible.
Déficits de información	• No se dispone de información actualizada y homogénea de la extensión, estado y funcionalidad de muchos ecosistemas. Esta falta de información puede hacer que se pasen por alto determinados elementos involucrados en los procesos clave. • Escasa información sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas tras perturbaciones. • Los impactos en cascada, aunque identificados, no están bien caracterizados. • Falta información relativa a umbrales críticos para algunos procesos, especies y variables climáticas. • La interacción entre diferentes peligros y sus efectos sobre los procesos ecológicos es compleja y difícil de caracterizar, lo que hace que la información disponible sea insuficiente.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

4.4. RC3.4: Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a los cambios en las variables climáticas

El análisis en este capítulo se centrará en los servicios ecosistémicos como se estructuran en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España (EME, 2011), que indica que 45 % de los servicios de los ecosistemas evaluados en el país se han degradado o se están utilizando de manera insostenible ya, lo que puede redundar en un elevado alcance en términos económicos y de población afectada. A esto se une la irreversibilidad de algunas de estas alteraciones. aunque en algunos casos se puedan hacer algunas puntualizaciones siguiendo la identificación de servicios específicos según las contribuciones de la naturaleza a las personas identificadas por IPBES (2022) de las que no se dispone una evaluación de todos los servicios ecosistémicos para España todavía. En general y de acuerdo con valoración económica de los servicios de los ecosistemas suministrados por los ecosistemas de España (EMEC) (Gómez-Baggethun *et al*., 2014), la degradación de los servicios ecosistémicos afecta a múltiples territorios y colectivos de la geografía española, con alta probabilidad de ocurrencia a corto plazo.

Se ha tenido en cuenta que se ha incluido información sobre la degradación de los servicios ecosistémicos en riesgos identificados en otros sectores: El riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos (regulación del ciclo hidrológico, protección frente a la erosión, valores recreativos y de conservación) de los bosques debido a los cambios del clima (sector Forestal, la Desertificación y la Caza y Pesca Continental); El riesgo de pérdida de hábitats costeros y servicios ecosistémicos asociados por aumento del nivel medio del mar relativo (sector de Costas y Medio marino); riesgo relacionado con los servicios de abastecimiento de alimentos (sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura, y Alimentación); El riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales (sector Turismo); El riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivados de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua (sector Agua y Recursos Hídricos). En este capítulo de ahondará en aquellos servicios ecosistémicos que se refieren a servicios de soporte o abastecimiento (no relacionados con la agricultura y la ganadería, la caza y la pesca, los bosques, los recursos hídricos o el valor estético de los ecosistemas como atractivo turístico) y servicios de regulación (excluyendo la regulación hídrica, los suelos y los ciclos biológicos en sistemas agrícolas, ganaderos y forestales) que han sido abordados en las evaluaciones en otros sectores.

Dada la variedad de servicios ecosistémicos considerados, son varios los **peligros** que pueden desencadenar este riesgo clave. Destacan los peligros ligados a un aumento de la temperatura,

los cambios en la precipitación, el calor extremo y las olas de calor (marinas y atmosféricas). Así como, el aumento del nivel del mar que en costas bajas y estuarios que podría provocar inundaciones permanentes y salinizaciones; mientras que en hábitats costeros reduciría la capacidad de amortiguación natural de dunas y marismas.

El incremento sostenido de las temperaturas, una reducción de las precipitaciones y una tendencia hacia la aridificación del territorio, agravados por la ocurrencia de eventos extremos, como incendios forestales, sequías prolongadas y lluvias torrenciales, que intensifican los procesos erosivos son los peligros más relevantes para los bosques españoles (ver RC5.6 para más detalles). A ello se añaden como riesgos subyacentes las perturbaciones de origen antrópico, entre las que destacan la tala, los incendios provocados y la pérdida de cobertura vegetal, factores que disminuyen la funcionalidad ecológica de los ecosistemas y su capacidad para mantener los servicios ambientales esenciales.

El cambio climático, los cambios en la temperatura, estacionalidad de las precipitaciones y eventos extremos (olas de calor, inundaciones, heladas y granizo) representa un peligro creciente para el sector agrario español (ver sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) al afectar los servicios ecosistémicos esenciales de los que depende, como la fertilidad del suelo, la polinización, la regulación del agua y el control natural de plagas. Y afectar a los servicios de provisión como las producciones de alimentos.

El aumento del nivel medio del mar constituye un peligro grave para los ecosistemas costeros españoles, como playas, dunas, marismas, estuarios y deltas, especialmente en zonas bajas donde la inundación permanente puede causar su pérdida o degradación comprometiendo servicios ecosistémicos esenciales como la protección frente a tormentas o la regulación climática (ver Sector Costas y Medio Marino). La superación de estos umbrales por estrés térmico, acidificación o eventos extremos puede comprometer procesos y funciones ecológicas (estructura, productividad, reproducción y reclutamiento), lo que reduce la protección de la costa y el sostenimiento de recursos pesqueros, con impactos subsecuentes sobre servicios ecosistémicos esenciales

La alteración del régimen de caudales e incumplimiento del régimen de caudales ecológicos en condiciones de escasez de agua podría conducir a la pérdida de hábitats, declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos, y degradación de servicios ecosistémicos.

Se encuentran **expuestos** los ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales, marinos y costeros, terrestres (incluyendo agro-sistemas) y las especies que los habitan. El grado de exposición tal y como se ha especificado para anteriores riesgos clave, la Península Ibérica y los territorios Insulares de nuestro país cuenta con una gran diversidad de ecosistemas que albergan una enorme diversidad de especies (ver RC 4.1, RC4.2, RC4.3).

Los ecosistemas forestales (ver RC5.6 para más detalles) más afectados son los mediterráneos, especialmente en zonas secas y con fuertes pendientes, donde la menor productividad y la alta incidencia de incendios aumentan su fragilidad. La degradación de estos entornos no solo compromete la integridad ecológica de los bosques, sino también el suministro de servicios esenciales como el agua, la protección del suelo, el valor recreativo y la conservación de la biodiversidad, de los que depende buena parte de la sociedad.

La exposición de los agro-sistemas (ver sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) es alta, dado que estos servicios sustentan la producción agrícola en todo el territorio, especialmente en las regiones mediterráneas más vulnerables.

La exposición de los ecosistemas costeros españoles es muy alta, ya que estos hábitats representan más del 40 % del litoral y sostienen tanto funciones ecológicas clave como actividades humanas ligadas al turismo, la pesca o la agricultura (ver Sector Costas y Medio Marino). Los servicios ecosistémicos costeros, como la protección natural, la estabilización sedimentaria o la provisión de hábitats, se encuentran también expuestos en todo el litoral, especialmente allí donde riesgos subyacentes como la presión antrópica y la falta de espacio para la migración tierra adentro limitan su persistencia funcional., La exposición a mayor intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos puede comprometer los servicios ecosistémicos como la protección costera, la calidad del agua o la biodiversidad, pueden deteriorarse por sobrecarga física, intrusión salina o contaminación difusa.

En cuanto a la exposición en diferentes escenarios de cambio climático, los modelos ecológicos y herramientas tipo InVEST (Sharp *et al*., 2015) son las herramientas más utilizadas para conocer futuras distribuciones de los ecosistemas y de los servicios ecosistémicos derivados. En España se han realizado estudios para determinar la idoneidad de hábitats, 292 especies de fauna y 220 taxones de flora, a futuros bajo distintos escenarios del AR4 del IPCC (Araújo *et al*., 2011; Felicisímo *et al*., 2011), que se están actualizando con los nuevos escenarios actualmente. Finalmente, los mapas de zonificación climática elaborados por la Agencia Estatal de Meteorología (Chazarra-Bernabé *et al*., 2022) muestran un solapamiento significativo entre las áreas protegidas y las regiones proyectadas con mayor riesgo de sequías extremas y olas de calor en las próximas décadas, lo que resalta la necesidad de medidas de adaptación para minimizar la degradación de los servicios ecosistémicos asociados.

La **vulnerabilidad** de los bosques españoles (ver RC5.6 para más detalles) frente al cambio climático radica principalmente en su juventud, ya que muchas masas forestales proceden de repoblaciones recientes y presentan una menor capacidad de adaptación a la variabilidad climática. A ello se suman las difíciles condiciones del terreno, suelos poco desarrollados, pedregosos y

con fuertes pendientes, que limitan la regulación hídrica y aumentan la erosión. Además, ciertas especies muestran baja resiliencia: las caducifolias son más sensibles a la sequía, mientras que las coníferas toleran peor la competencia y el fuego. La escasez de bosques maduros o primarios, más estables y valiosos ecológicamente, acentúa aún más esta fragilidad estructural.

La vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos de los agro-sistemas (ver sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) se ve acentuada por la pérdida de su biodiversidad funcional, que reduce su capacidad de adaptación y respuesta ante las perturbaciones climáticas.

La disipación del oleaje, la depuración del agua o la provisión de hábitats para especies marinas, pueden deteriorarse por la acción del oleaje o el incremento de la salinidad y turbidez, siendo los ecosistemas intermareales como las marismas o las praderas de fanerógamas marinas especialmente vulnerables a este tipo de impactos episódicos. La vulnerabilidad de las costas se incrementa en áreas donde la urbanización o las infraestructuras impiden la migración natural de las especies de estos ecosistemas hacia el interior, generando el fenómeno conocido como “estrangulamiento costero” (ver Sector Costas y Medio Marino). Los cambios demográficos, el aumento del capital construido, el crecimiento de la actividad económica, las transformaciones en los usos del suelo y la creciente presión sobre los ecosistemas litorales constituyen factores de riesgo subyacente, al incrementar progresivamente la exposición y reducir la resiliencia del sistema costero frente a impactos crónicos.

En zonas continentales con déficit hídrico y peor calidad del agua pueden verse afectados en mayor medida los servicios ecosistémicos en ecosistemas acuáticos (ver sector Agua y Recursos Hídricos, RC4.3). Las zonas húmedas, como las recogidas en el Inventario Nacional de Humedales, son particularmente vulnerables a la disminución de los recursos hídricos debido a cambios en el régimen de precipitaciones y al aumento de las temperaturas, con impactos observados en servicios como la regulación hídrica y la provisión de hábitats (MITECO, 2022b).

Los **factores subyacentes** que interactúan y amplifican los peligros del cambio climático se introduce a continuación de forma sintética: la fragmentación de hábitats y la sobreexplotación de recursos naturales; determinados cambios en políticas públicas, normativas o decisiones administrativas pueden debilitar la protección del territorio y la gestión sostenible de los ecosistemas (por ejemplo, en la normativa urbanística o de planificación territorial); presiones económicas de sectores como la agricultura, el turismo o la urbanización, especialmente cuando estas actividades se desarrollan en zonas rurales que podrían denominarse riesgos de mercado; riesgos tecnológicos derivan del uso de prácticas (por ejemplo, industriales y agrícolas) no sostenibles, como el uso intensivo de recursos o infraestructuras que alteran procesos ecológicos que provocan la degradación del suelo, contaminación del agua, pérdida de biodiversidad funcional y deterioro de servicios ecosistémicos esenciales como la polinización o la calidad del agua. Existen además eventos denominados de “cisne

negro", que pueden hacer colapsar ecosistemas enteros o acelerar procesos de degradación ya en marcha, superando la capacidad de adaptación de las especies y de las políticas de gestión. Es el caso de enfermedades que puedan afectar a especies estructurantes de los ecosistemas, incendios forestales de gran magnitud o eventos climáticos sin precedentes.

El Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (IEPNB, MITECO) recopila información detallada sobre la distribución, abundancia y estado de conservación de distintos elementos del patrimonio natural en España, incluyendo inventarios, catálogos, registros y listados que permiten conocer su riqueza, estado de conservación y uso de sus recursos, por lo que constituye una herramienta esencial para conocer qué elementos se encuentran presentes en el territorio, y por tanto expuestos a diferentes peligros climáticos según su ubicación, y los servicios ecosistémicos que éstos proveen. Esta información es muy útil para identificar y conocer los riesgos subyacentes.

Los **impactos** del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos de los bosques españoles (ver RC5.6 para más detalles) se manifiestan en una reducción de la productividad y de la cobertura forestal, especialmente en las zonas más secas, así como en una disminución de la escorrentía y alteraciones en los flujos hídricos que comprometen la disponibilidad de agua. El aumento de la erosión, sobre todo durante episodios de lluvias intensas, y la modificación de las dinámicas ecológicas (como la colonización o extinción de especies) transforman la estructura y composición de los bosques. Todo ello conlleva una pérdida significativa de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del ciclo hidrológico, la protección del suelo y los valores recreativos y de conservación. Aunque la superficie forestal ha crecido por el abandono rural y la reforestación, el cambio climático amenaza con revertir estos avances y reducir tanto la cantidad como la calidad de los servicios que los bosques ofrecen.

En los ecosistemas terrestres, también las poblaciones de mamíferos se están viendo afectadas, por ejemplo, los murciélagos en el sur de España que juegan un papel importante en el control de las plagas y cuyo declive pueden tener un efecto cascada en los ecosistemas donde se encuentran (Fialas *et al.*, 2025).

Los impactos en los servicios ecosistémicos de los agro-sistemas (ver sector Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación) se traducen en una menor resiliencia ecológica, una disminución de la productividad y un riesgo creciente para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Los impactos en las costas y el medio marino se refieren a la pérdida de superficie costera emergida y la erosión acelerada afectan gravemente al patrimonio natural, provocando la degradación de hábitats como marismas y praderas marinas, comprometiendo servicios ecosistémicos esenciales como la protección frente a tormentas o la regulación climática (ver Sector Costas y Medio Marino).

La intrusión salina debida a la subida del nivel del mar afecta gravemente a humedales costeros, reduciendo servicios ecosistémicos clave como la protección frente a inundación, la biodiversidad y la provisión de hábitats. La superación de umbrales térmicos, acidificación o eventos extremos puede comprometer los servicios ecosistémicos esenciales de las costas y el medio marino. Tal es el caso de las olas de calor marinas que inducen un estrés que puede llevar a mortalidades masivas en especies de flora y fauna (Deguette *et al*., 2022; Smith *et al*., 2023; Verdura *et al*., 2019). En las costas, además, los impactos incluyen la reducción de servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono o el valor recreativo, además de daños económicos y sociales significativos. Regiones como el delta del Ebro, las marismas del Guadalquivir o las costas cantábricas y mediterráneas se encuentran entre las más amenazadas, con estimaciones de pérdidas superiores a 900 millones de euros anuales en valor recreativo de playas hacia finales de siglo bajo escenarios de altas emisiones. Un ejemplo, la degradación irreversible de un servicio ecosistémico en las costas de España es la pérdida de la capacidad de las praderas de fanerógamas marinas para proteger las playas frente a la erosión. Estas praderas submarinas desempeñan un papel crucial en la estabilización de los sedimentos y en la amortiguación del impacto de las olas y tormentas, contribuyendo así a la conservación natural del litoral., Sin embargo, riegos subyacentes como la construcción de infraestructuras costeras, la contaminación y el fondeo de embarcaciones, han provocado su disminución significativa en las últimas décadas, muy especialmente en la especie endémica del Mediterráneo *Posidonia oceanica* (Marbà *et al*., 2014). Esta pérdida ha reducido la capacidad natural de las costas para resistir la erosión, resultando en una mayor vulnerabilidad a las tormentas y al aumento del nivel del mar (Ondiviela *et al*., 2014). Otro ejemplo, es la reducción de las poblaciones de algas rojas como las del género *Gelidium y Chondrus crispus* que configuran en la península Ibérica y en las Islas Canarias, praderas y bosques submarinos que proveen de importantes servicios ecosistémicos como sustrato y refugio para otras especies (Martínez *et al*., 2015).

Por otra parte, los ecosistemas de agua dulce (muy vulnerables al cambio climático, ver RC3.2) ofrecen múltiples servicios ecosistémicos esenciales como el suministro de agua de calidad para distintos usos; la depuración natural del agua mediante procesos biológicos; la protección frente a la erosión; oportunidades para el ocio, el turismo, así como el control de inundaciones y la prevención de sus impactos que pueden verse comprometidos por los peligros climáticos. Es de destacar que el 48 % de los humedales de la cuenca mediterránea se perdieron entre 1970 y 2013, y el 36 % de la fauna dependiente de los humedales del Mediterráneo está amenazada de extinción (MedECC, 2020). En lo que se refiere a la provision de agua, en las zonas mediterráneas (por ejemplo, el valle del Ebro), el suministro de agua disminuirá enormemente bajo los escenarios RCP4.5 y RCP4.8, lo que agravará las condiciones de escasez de agua (Jorda-Capdevila *et al*., 2019).

Las interacciones entre los glaciares, el incremento de temperatura y el descenso de las precipitaciones nivales provocan retroceso de los mismos y mayores amenazas para la biodiversidad y los servicios

ecosistémicos altamente adaptados que dependen de ellos, como los cursos fluviales creados por su escorrentía y los paisajes post-glaciares adyacentes (Losapio *et al*., 2025). El elevado calentamiento podría provocar la práctica desaparición de la tundra alpina en los Pirineos y consecuentemente sus servicios ecosistémicos como la provisión de hábitats (Feyen *et al*., 2020).

La **Figura 5** representa la cadena de impacto asociada a este riesgo clave, reflejando de forma estructurada los componentes que lo generan: peligro, exposición y vulnerabilidad, así como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco conceptual, y sobre él actúan tanto los peligros climáticos como otros factores que potencian el riesgo. A partir de este riesgo se identifican los impactos potenciales y los efectos en cascada, que pueden afectar directamente al sector analizado o estar interrelacionados con otros sectores, reflejando así la naturaleza sistémica del riesgo climático.

La interacción de los peligros descritos, junto con los elementos expuestos y la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos generan el **riesgo** de pérdida o degradación de los servicios ecosistémicos en España. Los **impactos** derivados de este riesgo tienen efectos en cadena que afectan sectores clave como el sistema financiero, el turismo, la agricultura, el sector forestal con implicaciones para la equidad social., La pérdida de biodiversidad es uno de los impactos significativos en cuanto a perdida de servicios ecosistémicos, que puede afectar directamente a sectores económicos dependientes del capital natural, como el turismo ecológico, la agricultura o incluso el sistema financiero, que cada vez más incorpora estos riesgos en sus análisis de inversión y sostenibilidad. La pérdida de biodiversidad vegetal local está afectando a polinizadores claves, como las abejas, fenómeno que puede incrementar el precio de los alimentos y afecta a sectores económicos clave como la agricultura y la alimentación. Los conflictos por el uso de recursos, como la competencia entre regadíos agrícolas y el suministro de agua potable, están generando tensiones sociales y desigualdades socioeconómicas, exacerbando la vulnerabilidad de las comunidades más dependientes de estos servicios ecosistémicos. En cuanto a la pérdida de resiliencia en las comunidades está directamente vinculada a la degradación de los servicios ecosistémicos que proporcionan protección natural frente a eventos extremos. Por ejemplo, la degradación de zonas costeras en el Delta del Ebro ha reducido la capacidad de este ecosistema para amortiguar el impacto de tormentas e inundaciones, exponiendo a las comunidades locales a mayores riesgos. Este tipo de impactos afecta directamente a la capacidad de adaptación de las ciudades, especialmente en zonas urbanas costeras, que enfrentan desafíos relacionados con la planificación urbana y la gestión del riesgo.

El proyecto VANE (Moratilla, 2010) hizo estimaciones del valor se varios servicios ecosistémicos en España (provisión de agua, control de la erosión, captura de carbono por el arbolado forestal y conservación de la biodiversidad) que se cifran en conjunto en casi 10.000 Millones de euros por año.

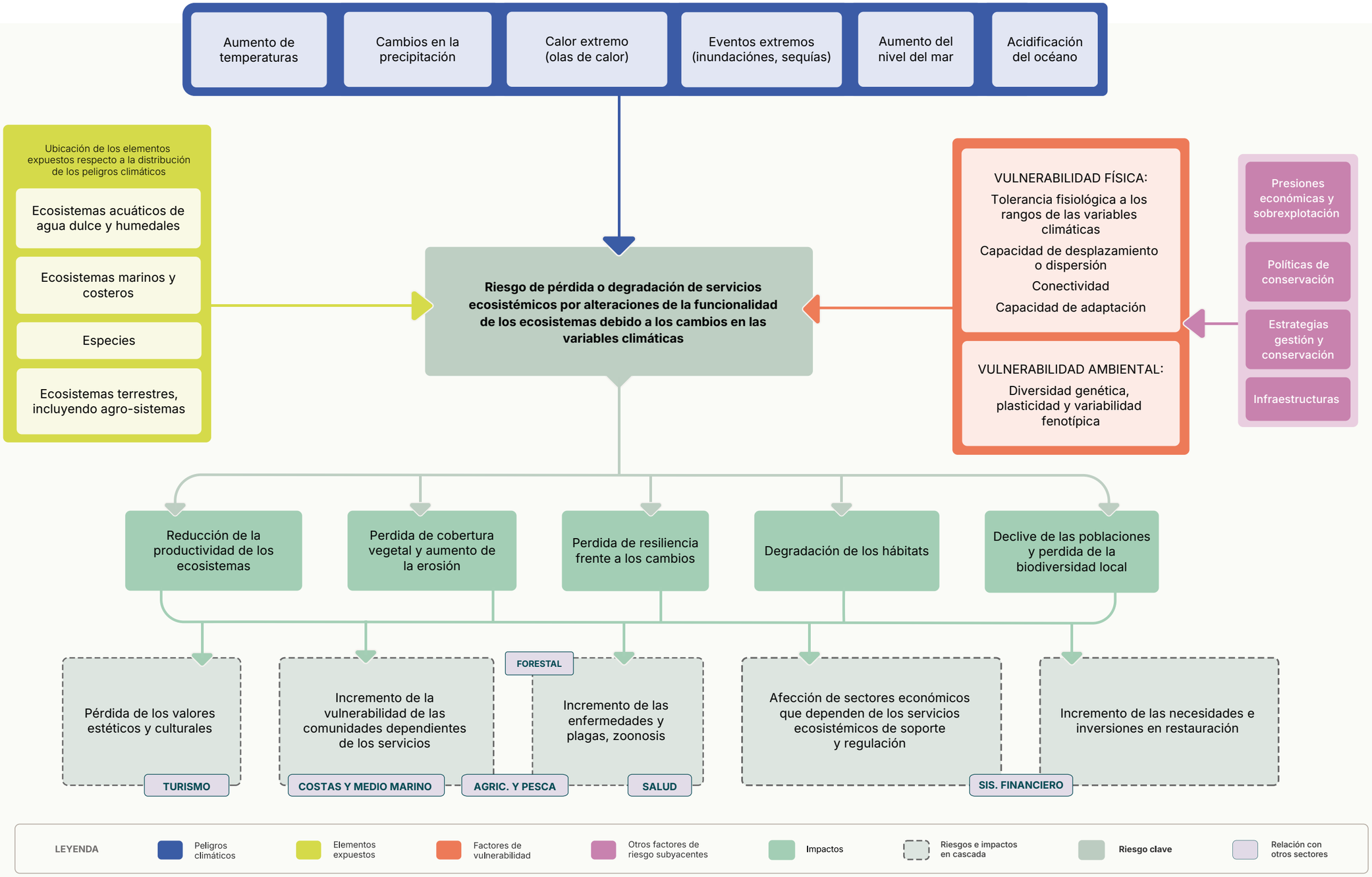


Figura 5. Cadena de impacto del riesgo clave de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.

Ficha 4. Análisis del riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones en la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio Plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Crítica	Crítica	Catastrófica
	El 45 % de los servicios de los ecosistemas evaluados (EME, 2011) degradado o se están utilizando de manera insostenible, siendo los servicios de regulación los más afectados. El 48 % de los humedales de la cuenca mediterránea se perdieron entre 1970 y 2013, (MedECC, 2020). La Degradación observada de los ecosistemas a nivel global, como la pérdida de corales, cambios en la distribución de las especies, pérdida de servicios reguladores (por ejemplo, almacenamiento de carbono, purificación del agua) ya es substancial (IPCC WGII, 2022).	Para el SSP1-2.6, se esperan impactos localizados en zonas costeras bajas y altamente expuestas de 2050 en adelante (Fox-Kemper *et al.*, 2021). Implica un riesgo sustancial muy alto, donde muchos ecosistemas pierden resiliencia; algunos servicios (por ejemplo, la pesca en los arrecifes de coral o la absorción de carbono) disminuyen drásticamente (IPCC WGII, 2022).	Se prevé que la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios a los seres humanos disminuya en todos los niveles de calentamiento, con pérdidas sustanciales a 2 °C con un alto riesgo de degradación grave o colapso de muchos ecosistemas, con pérdida irreversible de los servicios ecosistémicos (IPCC WGII, 2022).	Es casi seguro que el cambio climático aumentará el riesgo de colapso de muchos tipos de ecosistemas y, por lo tanto, afectará a los sistemas socio ecológicos, incluidos los servicios ecosistémicos, el bienestar humano y el valor económico de esos sistemas (IPBES, 2019). Con un calentamiento de 4 °C hay un alto riesgo de cambio sistémico a gran escala y un alto riesgo de degradación grave o colapso de muchos ecosistemas, con pérdida irreversible de los servicios ecosistémicos. (IPCC SPM, 2022).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio Plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio
	Los estudios para toda España no son recientes o estudios más actuales son sólo parciales (MedECC, 2020).	Los estudios para toda España no son recientes o estudios más actuales son sólo parciales (MedECC, 2020).	Los estudios para toda España no son recientes o estudios más actuales son sólo parciales (MedECC, 2020).	Los estudios para toda España no son recientes o estudios más actuales son sólo parciales (MedECC, 2020).

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incremento de las temperaturas del aire y el agua y fenómenos extremos relacionados (olas de calor, sequías). • Inundación de zonas costeras por subida del nivel del mar. • Inundaciones fluviales y pluviales debido a precipitaciones extremas. • Modificación de las características de agua marina (salinidad, pH).	• Ecosistemas acuáticos de agua dulce y humedales. • Ecosistemas marinos y costeros. • Ecosistemas terrestres, incluyendo agro-sistemas y ecosistemas urbanos. • Especies de flora y fauna, microorganismos.	• Capacidad de desplazamiento o dispersión. • Diversidad genética, plasticidad y variabilidad fenotípica. • Capacidad de adaptación. • Conectividad. • Tolerancia fisiológica a los rangos de las variables climáticas. Factores subyacentes: • Presiones económicas y sobreexplotación. • Políticas de conservación. • Estrategias de gestión y conservación. • Infraestructuras grises.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	• Los efectos transfronterizos relacionados con la degradación de los hábitats, motivados en parte por alteraciones de estos procesos ecológicos clave, son considerados por la Unión Europea mediante la promoción de la cooperación entre estados y la implementación de políticas integradas de conservación como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente., 2014). • La pérdida de productividad de los ecosistemas y de medios de vida (especialmente en zonas agrícolas y rurales del sur y sureste de España, o en comunidades pesqueras) puede generar despoblamiento, dando lugar a desplazamientos de población hacia otras regiones más productivas o urbanizadas, e incluso hacia otros países de la UE. • La degradación los servicios ecosistémicos pueden llevar a la pérdida de hábitats únicos y especies endémicas, algunas de las cuales forman parte de corredores ecológicos transnacionales. Esto comprometería objetivos comunes de la UE en conservación de la biodiversidad (Red Natura 2000). • España es un productor agrícola clave en Europa, y los descensos de la producción y calidad puede mermar la oferta de estos productos en el mercado europeo. Se incrementaría la dependencia de importaciones extracomunitarias, con implicaciones económicas y estratégicas. • España está sujeta a compromisos internacionales cuyo cumplimento pueden verse afectado. El incumplimiento de estos compromisos puede afectar la cooperación internacional y conllevar sanciones o restricciones.
Territoriales	Los impactos derivados de este riesgo ocurren de manera desigual en el territorio español dada la variabilidad climática de España. Se puede considerar que las regiones del sur son potencialmente más vulnerables debido a la existente escasez de agua y las altas temperaturas, lo que supone que muchos procesos ecológicos se encuentren próximos a sus límites de tolerancia. También las regiones costeras son más vulnerables a los eventos extremos.
Sociales	Los grupos sociales más susceptibles serán aquellos asociados a actividades primarias dependientes de recursos naturales, como la agricultura o la pesca, donde la producción y capturas pueden verse afectadas directamente por cualquier cambio en los procesos ecológicos esenciales (p.ej. declives poblacionales, migraciones o desfase entre ciclos de vida) o la agricultura (p.ej. declives de la producción, desfase entre ciclos de vida de polinizadores y cultivos).
Maladaptación	Dado que los ecosistemas proveen de servicios, fijan y almacenan carbono o producen materiales o alimentos, es frecuente que ciertos programas de mitigación del cambio climático promuevan plantaciones masivas o introducción de especies exóticas muy productivas (en pastos, bosques, cultivos, etc.) con el objetivo de aumentar la captura de carbono y la productividad. Estas iniciativas a menudo se implementan sin una evaluación adecuada de la vulnerabilidad de las mismas y riegos de degradación del ecosistema (como el de incendios o la erosión) o competitividad con las especies autóctonas. Por ejemplo, al introducir especies exóticas que requieran de grandes cantidades de recursos no disponibles (hídricos que induzcan escasez para el consumo humano o nutrientes cuyas adiciones pueden alterar los suelos y los acuíferos) o podrían convertirse en invasoras o introducir plagas y enfermedades.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo.

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Dada la diversidad de especies dentro de los ecosistemas afectados, es difícil establecer umbrales críticos para cada una de ellas, y en muchos casos, están condicionadas por interacciones complejas que dificultan aún más análisis. Sin embargo, para algunas especies existen curvas de tolerancia, desarrolladas a través de experimentación o modelado, a diferentes variables climáticas/ambientales que pueden utilizarse como aproximaciones de umbrales (de la Hoz *et al.*, 2019).
Lock-in/Bloqueo	Una vez se superan determinados límites fisiológicos, hasta el punto de que se pierdan ciertas especies, funciones o procesos dentro de la comunidad, las medidas de adaptación se vuelven mucho más complejas pues requieren una restauración del funcionamiento ecológico del sistema. Por otro lado, la restauración de grandes espacios para reducir la fragmentación de hábitats podría entrar en conflicto con otros sectores. Por ejemplo, la existencia de concesiones para actividades en la costa puede limitar la capacidad de adaptación de la zona.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo destacan las siguientes estrategias y planes (más detalles en RC1): • Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020). • Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021). • Pacto Verde Europeo (2019). • Directiva Hábitats (92/43/CEE): Protección de hábitats naturales y especies de interés comunitario. • Directiva Aves (2009/147/CE): Conservación de aves silvestres y sus hábitats. • La Ley de Restauración de la Naturaleza de la UE (Reglamento (UE) 2024/1991). A nivel nacional destaca la siguiente normativa: • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020). • Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (2021). • Ley 7/2021, de 20 de mayo de Cambio Climático y Transición Energética. • Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. • Ley 41/2010, de 29 de diciembre de Protección del Medio Marino. Además, existen estrategias específicas para ecosistemas clave. • Plan Estratégico de Humedales 2030 (2022) para fomentar la conservación de humedales como amortiguadores de fenómenos extremos. • Estrategia Forestal Española horizonte 2050 (2022), Plan Forestal Español (2022-2032) y Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación (2022), para incentivar la reforestación adaptativa con especies resistentes al estrés hídrico y térmico. • Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2016), centrada en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	En cuanto a la gobernanza vertical se diferencian tres niveles administrativos. A nivel nacional: • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): responsable del diseño e implementación de políticas de cambio climático y conservación de la biodiversidad. • Confederaciones Hidrográficas: Desarrollo de medidas para mantener la funcionalidad ecosistémica de los ríos. A nivel autonómico, las Comunidades Autónomas con competencias en gestión de recursos naturales, ordenación del territorio, planificación forestal y gestión de espacios protegidos. A nivel local, los ayuntamientos y diputaciones provinciales responsables de la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el ámbito local.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La adopción de medidas de adaptación para la conservación de la biodiversidad puede aportar una amplia gama de beneficios en los ámbitos ambiental, social, económico y cultural. • Beneficios ambientales como la conservación de especies con una función clave en los ecosistemas, la reducción de riesgos como la desertificación, pérdida de suelos, la mitigación del cambio climático puesto que la protección de las especies requiere la restauración de sus hábitats. • Beneficios sociales como el aumento de la resiliencia de ecosistemas y de la capacidad de las comunidades para adaptarse a las condiciones climáticas extremas. • Beneficios económicos porque los ecosistemas más diversos son más resilientes y el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio ligadas al ecoturismo. • Beneficios culturales como la preservación de especies emblemáticos que son piezas clave para la identidad cultural y el patrimonio local y el fomento de la conciencia ambiental y la educación. Además, la implementación de medidas de adaptación dará cumplimiento a compromisos internacionales como la Acuerdo de París, Metas del Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal, la Agenda 2030 de Naciones Unidas, y otras metas globales y contribuirá, en términos globales, a la regulación y estabilización climática.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	La adopción de medidas de adaptación para la preservación de los servicios ecosistémicos puede aportar una amplia gama de beneficios en los ámbitos ambiental, social, económico y cultural. • Beneficios ambientales como la reducción de riesgos como la desertificación, pérdida de suelos, la mitigación del cambio climático puesto que la protección de las especies requiere la restauración de sus hábitats. • Beneficios sociales como el aumento de la resiliencia de ecosistemas y de la capacidad de las comunidades para adaptarse a las condiciones climáticas extremas. • Beneficios económicos porque los ecosistemas más diversos son más resilientes y el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio ligadas al ecoturismo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Beneficios culturales como la preservación de especies emblemáticas que son piezas clave para la identidad cultural y el patrimonio local y el fomento de la conciencia ambiental y la educación.
Déficits de información	• No se dispone de información actualizada y homogénea de la extensión, estado y funcionalidad de muchos ecosistemas. Esta falta de información puede hacer que se pasen por alto determinados elementos involucrados en los procesos clave. • Escasa información sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas tras perturbaciones. • Los impactos en cascada, aunque identificados, no están bien caracterizados. • Falta información relativa a umbrales críticos para algunos procesos, especies y variables climáticas. • La interacción entre diferentes peligros y sus efectos sobre los procesos ecológicos es compleja y difícil de caracterizar, lo que hace que la información disponible sea insuficiente.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector. Por ello se ha desarrollado un análisis específico de riesgos complejos (véase el capítulo Riesgos complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente. Para abordar esta complejidad, se ha desarrollado un modelo basado en la teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí. Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros. Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada centralidad de cercanía muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la centralidad de intermediación revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

Un aspecto destacable en los resultados obtenidos es que el sector Patrimonio Natural presenta un número muy elevados de interacciones con otros sectores. Esta situación puede explicarse por diversos factores. En primer lugar, el grado de interconexión depende en gran medida del proceso de identificación de riesgos clave y de la manera en que estos se han conceptualizado. En el caso del sector de Patrimonio Natural, los riesgos definidos se centran en de riesgos no finales, que pueden influenciar a otros sectores. Esta condición se refleja claramente en las métricas obtenidas. El análisis del grado de salida ha revelado que los riesgos del sector patrimonio natural ha revelado un grado alto, y por tanto mayor capacidad de desencadenar otros riesgos de forma directa, a la par que presentan grados de entrada también relativamente elevados.

En el grafo de interdependencias (**Figura 6**), el RC3.1 El *Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles* tiene un grado de entrada de 8 y grado de salida 17. Lo que indica que tiene gran influencia con otros riesgos identificados en varios de los sectores considerados, y se ve influenciado por varios riesgos a su vez.

Mientras que en el grafo de interdependencias (**Figura 7**) del RC3.3. *Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas* tiene un grado de entrada de 10 y de salida de 15. En este caso, la influencia de otros riesgos y su influencia en otros riesgos es más parecida, dado se trata de perturbaciones en muchos de los procesos esenciales que pueden tanto ser influenciados como influenciar otros sectores de los que dependen.

Por último, en el grafo de interdependencias (**Figura 8**), el *RC3.4 Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas* aparece como nodo central (en negro) tiene un grado de entrada 17 y grado de salida 16. El análisis del grado de entrada ha permitido identificar los riesgos más dependientes, es decir, aquellos que se ven más afectados por otros. El análisis del grado de entrada y el de salida en este caso son muy elevados indicando que es un riesgo que intermedia otros riesgos.

El sector de Patrimonio Natural tiene una exposición intermedia-alta por su alta exposición a influencias externas. Es decir que no solo acumula impactos, sino que también pueden amplificarlos si no se gestionan adecuadamente. La métrica de cercanía ha puesto de manifiesto que los riesgos de este sector son los que más rápidamente pueden verse afectados por el resto del sistema. Su posición central en la red los convierte en indicadores sensibles del estado general del sistema de riesgos, lo que los hace especialmente relevantes para la detección temprana del impacto y para la implementación de respuestas rápidas y coordinadas. El análisis de intermediación ha identificado a los riesgos del sector constituye uno de los nodos clave en la propagación de efectos, actuando como puente facilitando o bloqueando la transmisión de impactos. Su papel estructural lo convierte en estratégico para intervenir y modular la dinámica del sistema.

Los análisis efectuados subrayan la importancia de adoptar una visión sistémica en la gestión del riesgo climático y de priorizar las acciones llevadas a cabo en el sector, ya que, como se ha demostrado en el presente estudio, estas muestran un mayor potencial para influir en la estabilidad del conjunto.

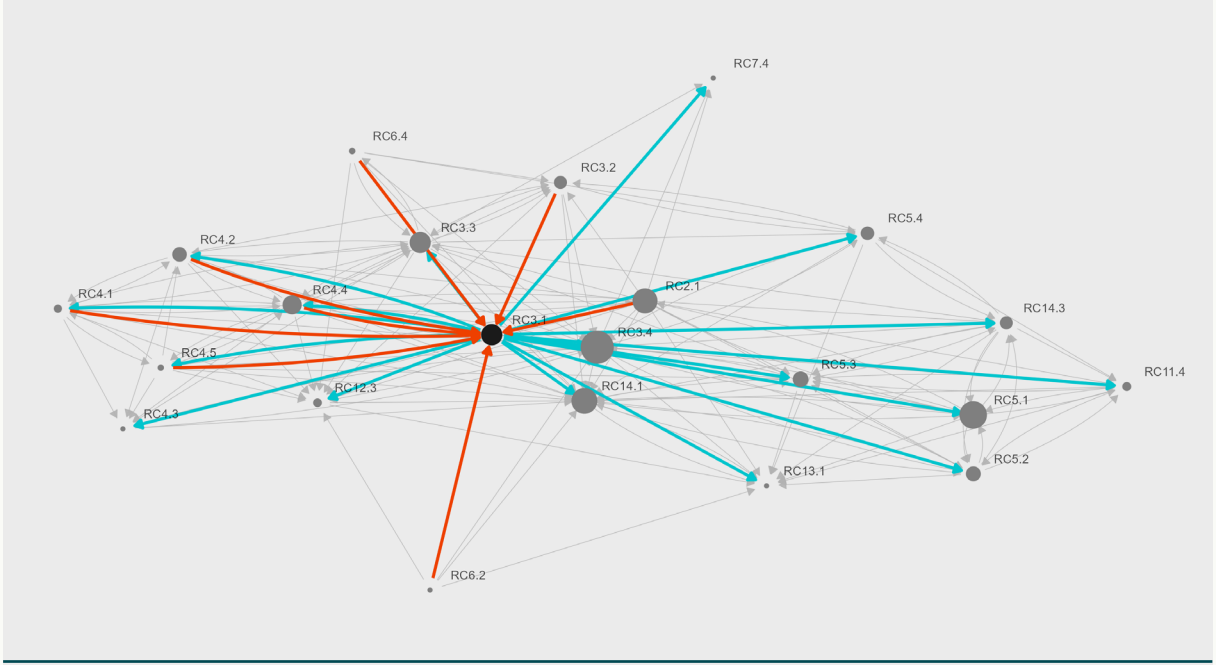


Figura 6. Grafo del Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles (RC3.1). Fuente: capítulo de riesgos complejos. Tiene un grado de entrada de 8 y grado de salida 17.

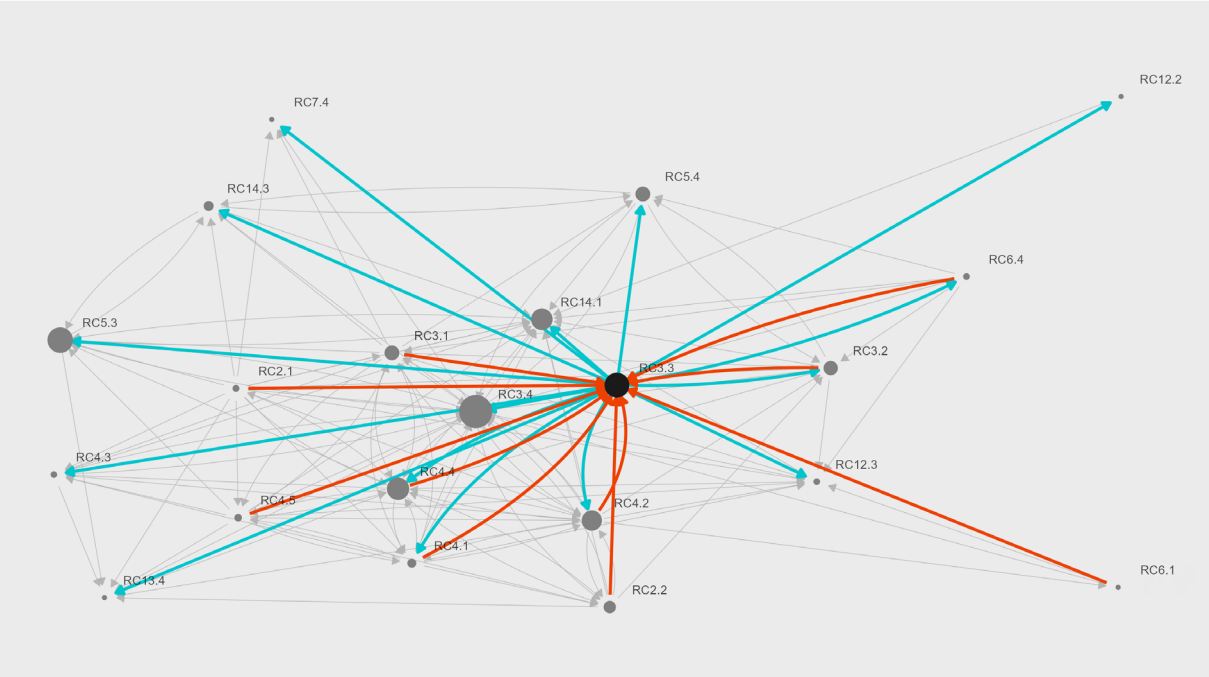


Figura 7. Grafo del Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas (RC3.3). Fuente: capítulo de riesgos complejos. Tiene un grado de entrada de 10 y de salida de 15.

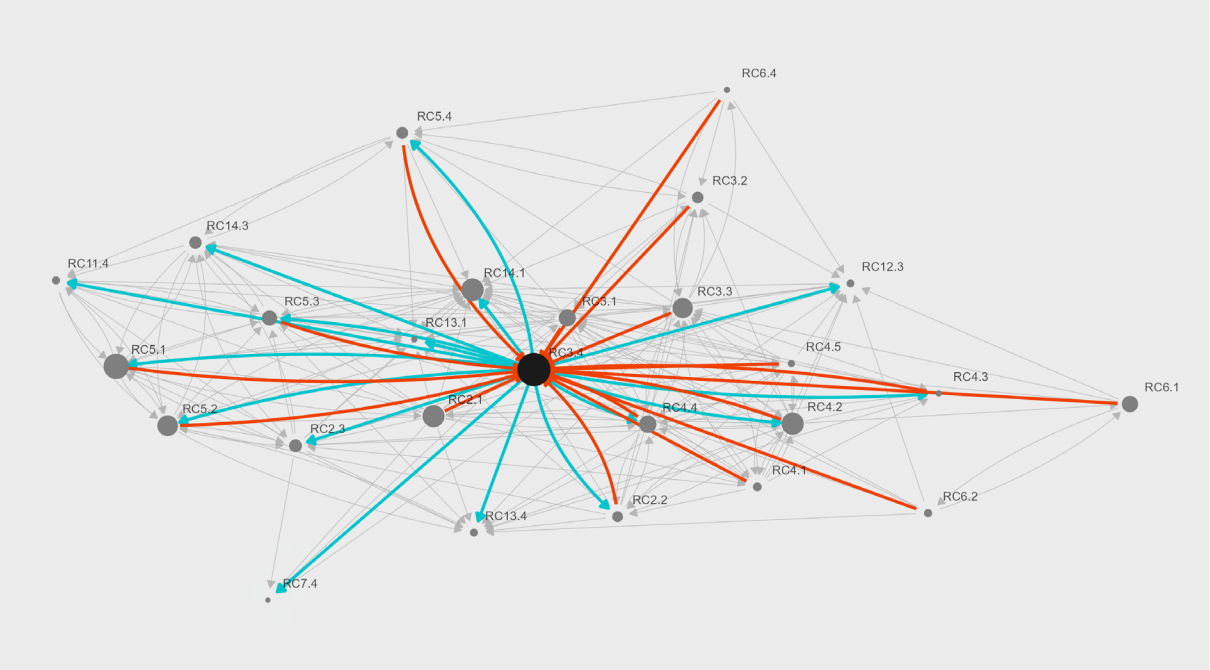


Figura 8. Grafo del Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas (RC3.4). Fuente: capítulo de riesgos complejos. Tiene un grado de entrada de 17 y un grado de salida de 16.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la Tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito del sector Patrimonio Natural.
Fuente: capítulo 7, de riesgos complejos.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles (RC3.1)	Medio –	Alto ▲	Baja ▼	Media –
Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc. (RC3.2)	Medio –	Bajo ▼	Baja ▼	Media –
Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas (RC3.3)	Alto ▲	Alto ▲	Media –	Media –
Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas (RC3.4)	Alto ▲	Alto ▲	Alta ▲	Media –

6. Caso de estudio

El caso de estudio INTEGRADAPTA ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito del Patrimonio Natural, la Biodiversidad y las Áreas Protegidas. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Este proyecto ha sido elegido porque busca analizar la interacción entre el reto demográfico (despoblación) y la adaptación al cambio climático en las áreas protegidas, con el fin de proponer estrategias integradas que aborden la despoblación y fortalezcan la resiliencia de estos ecosistemas y comunidades. Para ello se analizan las oportunidades que ofrecen las áreas protegidas como instrumento para la bioeconomía local y el fortalecimiento de la resiliencia climática de los territorios y sus poblaciones, a través del trabajo con una red de gestores de áreas protegidas, personas expertas y análisis en profundidad de casos piloto.

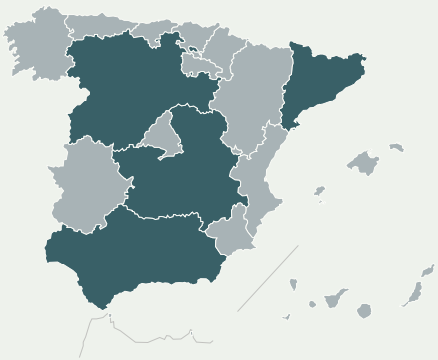
INTEGRADAPTA. Integración del reto demográfico para la adaptación al cambio climático de las áreas protegidas

Objeto

- Analizar e impulsar el papel de las áreas protegidas como espacios estratégicos para abordar de forma integrada el reto demográfico y la adaptación al cambio climático.

Descripción:

- INTEGRADAPTA analiza las dinámicas socioeconómicas de las áreas protegidas en España,



Ámbito Territorial:

- Diagnóstico nacional con estudios específicos en las siguientes áreas protegidas: Parque Natural del Alt Pirineu; Reserva de la Biosfera del Alto Bernesga; Parque Natural del Alto Tajo y Parque Natural y Reserva de la Biosfera de la Sierra de Grazalema.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

con especial atención a aquellas que enfrentan procesos de despoblación y aborda las implicaciones del abandono rural.

- Por otra parte, examina las sinergias entre las políticas de lucha contra la despoblación y las políticas de adaptación al cambio climático.
- El proyecto se desarrolla a través del trabajo con una red de gestores de áreas protegidas, personas expertas y análisis en profundidad de casos piloto.

Aspectos destacables:

- Pone en valor el papel de las áreas protegidas y de sus equipos de gestión como actores clave para para la conservación de la naturaleza, para impulsar la bioeconomía local y para fortalecer la resiliencia climática de las poblaciones.
- Se han seleccionado cuatro casos de estudio que representan distintos modelos de gobernanza y tipologías de áreas protegidas:

1. Reserva de la Biosfera del Alto Bernesga (Cordillera Cantábrica): Enfocada en frenar la despoblación, con especial atención al papel de las mujeres y la adaptación climática.
2. Parque Natural del Alt Pirineu: (Pirineos) Promueve el sector primario y el turismo en una región de montaña con baja densidad poblacional.
3. Parque Natural del Alto Tajo (Sistema Ibérico): Explora la cooperación público-privada y desarrolla estrategias de renaturalización.
4. Parque Natural y Reserva de la Biosfera de la Sierra de Grazalema (sur de España): Analiza los sistemas agrosilvopastoriles y su impacto en la lucha frente al climático.

Sector(es)/subsector

- Patrimonio natural, gestión forestal, agricultura y ganadería, patrimonio cultural y turismo.

Entidad(es) del proyecto

- Fundación Interuniversitaria Fernando González Bernáldez.

Escala

- Nacional y casos de estudio locales.

Riesgo(s)

- La despoblación como factor condicionante de la vulnerabilidad territorial y de la capacidad de respuesta frente al cambio climático.

Enlaces

- https://fungobe.org/integradapta/

Contenido del proyecto:

- Diagnóstico sociodemográfico municipios AP/capacidades de gestión.
- Estudio de casos.
- Recopilación de buenas prácticas.
- Elaboración de recomendaciones.
- Elaboración de caja de herramientas.
- Transferencia de resultados en ESPARC 2024.
- Sensibilización de tomadores de decisiones.

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

Este capítulo expone los principales riesgos climáticos del sector del patrimonio natural, la biodiversidad y las áreas protegidas de España, así como su interrelación con otros ámbitos, con el fin de orientar su adaptación a los impactos del cambio climático. Asimismo, identifica una serie de riesgos clave en base a la información disponible y una valoración preliminar de la urgencia, de cara a priorizar medidas en el siguiente ciclo de planificación.

Para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos, es necesario tener en cuenta una serie de limitaciones metodológicas y particularidades propias del sector, derivadas principalmente de la disponibilidad, calidad y homogeneidad de los datos, así como de las complejidades inherentes a los sistemas ecológicos.

Fuentes empleadas

El diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España, elaborado en el año 2021, constituye el punto de partida del presente capítulo, que analiza y sintetiza los principales impactos del cambio climático sobre los sectores considerados prioritarios tanto en el PNACC-1 como en el PNACC-2, entre los cuales se incluye explícitamente el sector del patrimonio natural, la biodiversidad y los ecosistemas (Sanz y Galán, 2021). Este diagnóstico proporciona una base sólida para identificar los riesgos relevantes que afectan a la conservación y funcionalidad ecológica del territorio en un contexto de cambio climático.

Además, se han utilizado fuentes técnicas y científicas relevantes, como el Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (IEPNB), los catálogos y listados de especies y hábitats protegidos, las estrategias nacionales en biodiversidad y conectividad ecológica, y marcos internacionales como la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) actualizado por IPBES (2022). El enfoque de evaluación de riesgos se basa en el marco metodológico del IPCC (IPCC, 2022), complementado con herramientas como el análisis multicriterio (AMC) y el modelo conceptual de riesgos de UNDRR (2022).

Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del sector

Una limitación metodológica importante en la evaluación del riesgo es la escasa integración de sus componentes —peligro, exposición y vulnerabilidad— en evaluaciones conjuntas y dinámicas. La mayoría de los estudios se centra en uno o dos de estos elementos, generalmente el peligro, sin incorporar modelos que reflejen las interacciones entre factores sociales, ecológicos y climáticos. Además, muchos modelos asumen que determinados factores de cambio permanecen constantes, lo que no refleja la complejidad y variabilidad del contexto real.

Aunque existe abundante literatura cualitativa sobre los impactos del cambio climático en la biodiversidad, los estudios cuantitativos que evalúan el alcance espacial y temporal de los riesgos o su impacto económico y social son limitados. La calidad y resolución de los datos varía significativamente entre regiones y ecosistemas: mientras algunos espacios naturales protegidos cuentan con seguimiento detallado, en otros persisten lagunas que dificultan una evaluación homogénea a nivel estatal.

La gran diversidad de hábitats y especies en el territorio nacional dificulta la generalización de conclusiones y la modelización de respuestas al cambio climático, especialmente en servicios ecosistémicos, compuestos por múltiples factores interdependientes.

Si bien el cambio climático es el foco principal, los impactos en el patrimonio natural suelen ser resultado de su interacción con otras presiones, como urbanización, contaminación y cambios en el uso del suelo, lo que complica aislar el componente climático. Son pocos los estudios que consideran los últimos escenarios planteados por el IPCC, que integran aspectos ambientales y sociales mediante las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) y los RCP.

La evaluación de aspectos sociales vinculados a la biodiversidad, como la dependencia de los servicios ecosistémicos o la percepción del riesgo por la población, presenta importantes vacíos, especialmente en cuanto a enfoque de género y desigualdades territoriales.

Por ello, es necesario generar conocimiento sobre los impactos y riesgos del cambio climático en el patrimonio natural, la biodiversidad y los espacios protegidos, tanto en la identificación de nuevos peligros como en la mejora de la precisión de las evaluaciones existentes. Resulta crucial desarrollar estudios que integren los últimos escenarios del IPCC para obtener una visión más completa y precisa de los posibles impactos futuros.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El AMC elaborado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por el IPCC (2022), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, las características temporales del riesgo, los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. Tal y como se refleja previamente, las restricciones en la disponibilidad de información complican la evaluación objetiva de los criterios, haciendo necesario recurrir al juicio de expertos.

Si bien el juicio de expertos puede estar sujeto a sesgos personales y limitaciones subjetivas, para mitigar dicho riesgo, se ha implementado un riguroso proceso de validación interna de forma que las evaluaciones han sido revisadas y corroboradas por múltiples expertos en el sector continental y marino, reforzando, así, la fiabilidad y la objetividad de los resultados obtenidos.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

Del mismo modo, la limitada información disponible hasta la fecha complica la caracterización de los riesgos clave, particularmente en lo que respecta a la descripción de aspectos como umbrales críticos del riesgo, riesgos de bloqueo y cuestiones transversales, tales como los efectos transfronterizos, la vulnerabilidad social y territorial, y la perspectiva de género. Es por ello que la información recopilada en las fichas sobre estos temas es una aproximación preliminar, y resulta necesario continuar generando nuevo conocimiento que permita una mejor comprensión de estas cuestiones.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Los estudios previamente descritos se centran en la evaluación de un determinado peligro climática y en aspectos particulares del sector. Por ello, no hay una visión de conjunto de los riesgos e impactos del sector, especialmente en aquellos con alto potencial de que sean compuestos, lo que dificulta el hecho de reflejar la realidad del sector.

En este sentido, existe una necesidad urgente de ampliar el conocimiento de las relaciones entre los riesgos del mismo sector y entre los distintos sectores. Esto permitirá una mejor comprensión de cómo los riesgos compuestos pueden afectar al sector en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y efectivas.

Particularidades del sector

A diferencia de otros sectores como la industria o la agricultura, los beneficios del patrimonio natural no siempre son fácilmente cuantificables en términos económicos, lo que puede limitar su priorización en procesos de toma de decisiones. A esto se une que muchos impactos sobre los ecosistemas se manifiestan a largo plazo y a escalas que desbordan los límites administrativos, lo que requiere enfoques integrados de gobernanza y planificación.

En cuanto a la presencia de efectos umbral y no linealidades, en muchos ecosistemas existen puntos de inflexión más allá de los cuales los impactos pueden ser irreversibles o desproporcionados, dificultando la anticipación de los riesgos, pero los estudios que lo abordan son limitados y habitualmente de casos aislados que dificulta su generalización.

El abordaje de la provisión de servicios ecosistémicos depende de múltiples variables físicas, biológicas y sociales, lo que dificulta su modelización precisa bajo escenarios de cambio climático.

Si bien ya existe información sobre los impactos del cambio climático en el patrimonio natural y la biodiversidad en España, esta información está dispersa, poco actualizada y no es sistemática por lo que es difícil de evaluar.

8. Referencias

- Alagador, D. (2022). Effective conservation planning of Iberian amphibians based on a regionalization of climate-driven range shift. Conservation Biology. 2023;37: e14026.
- Anadón, R., Afonso-Carrillo, J., Araujo, R., Arenas, F., Arrontes, J., Bárbara, I. *et al.*, (2014). Cambios recientes en la distribución y abundancia de macroalgas marinas en el norte de la península ibérica y Canarias en respuesta al cambio climático., in: XVIII Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina. Gijón, Spain.
- Anadón, R., Duarte, C., Fariña, C. (2005). 4. Impactos sobre los ecosistemas marinos y el sector pesquero. En Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE - Informe final.
- Anadón, R., Fernández, C., García Flórez, L., Losada, I., Valdés Santurio, L. (2009). Costas y Oceanos, in: Evidencias y Efectos Potenciales Del Cambio Climático En Astuarias. Eds: Consejería de Medio Ambiente, Ordenación Del Territorio e Infraestructuras. Viceconsejería de Medio Ambiente, Oficina Para La Sosteniblilidad, Cambio Climático y La Participación. Gobierno del Principado de Asturias. pp. 126-173.
- Araújo, M.B., Guilhaumon F., Neto D. R., Pozo, I., & Calmaestra R. (2011) Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española. 2 Fauna de Vertebrados. Dirección general de medio Natural y Política Forestal., Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid, 640 páginas.
- Arias-Ortiz A, Serrano O, Masqué P, Lavery PS, Mueller U, *et al.*, (2018). A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks. Nat. Clim. Change 8:338–44
- Armarego-Marriott, T. (2024). Monitoring bias for genetic diversity. Nature Climate Change, 14(2), p.117.
- Baquero, R. A., Barbosa, A. M., Ayllón, D., Guerra, C., Sánchez, E., Araújo, M. B., & Nicola, G. G. (2021). Potential distributions of invasive vertebrates in the Iberian Peninsula under projected changes in climate extreme events. Diversity and Distributions, 27(11), 2262–2276.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. Ecology Letters, 15, 365–377.
- Betts, R. A., & Brown, K. (2021). The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.
- Bianchelli S, Fraschetti S, Martini F, Lo Martire M, Nepote E, Ippoliti D, Rindi F and Danovaro R (2023) Macroalgal forest restoration: the effect of the foundation species. Front. Mar. Sci. 10:1213184.
- Bickford, D., Howard, S.D., Ng, D.J.J., & Sheridan, J.A. (2010). Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. Biodivers. Conserv. 19, 1043–1062.
- Borges, F.O., Santos, C.P., Paula, J.R., Mateos-Naranjo, E., Redondo-Gómez, S. *et al.*, (2021). Invasion and extirpation potential of native and invasive Spartina species under climate change. Frontiers in Marine Science, 8, 696333.Bosch J, Carrascal LM, Duran L, Walker S, and Fisher MC (2007). Climate change and outbreaks of amphibian chytridiomycosis in a montane area of Central Spain; is there a link? Proceedings of the Royal Society B 274:253-260.

- Bosch J., Martinez-Solano I. and Garcia-Paris M. (2001). Evidence of a Chytrid fungus infection involved in the decline of the common midwife toad (Alytes obstetricans) in protected areas of Central Spain. Biological Conservation, 97: 331-337.
- Brook, B.W., Sodhi, N. S., & Bradshaw, C. J. (2008). Synergies among extinction drivers under global change. Trends in Ecology & Evolution, 23, 453–460.
- Capdevila-Argüelles L., B. Zilletti & Suárez Álvarez. V.A. (2011). Cambio climático y especies exóticas invasoras en España. Diagnóstico preliminar y bases de conocimiento sobre impacto y vulnerabilidad. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 146 Pp
- Carbonell, J. A., Pallarés, S. *et al*., (2024). Thermal biology of aquatic insects in alpine lakes: insights from diving beetles', Freshwater Biology, 69(1).
- Chazarra Bernabé, A., Lorenzo Mariño, B., Romero Fresneda, R. y Moreno García, J. V. (2022) Evolución de los climas de Köppen en España en el periodo 1951-2020. Nota técnica 37 de AEMET. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología.
- Chefaoui, R.M., Duarte, C.M. & Serrão, E.A. (2018). Dramatic loss of seagrass habitat under projected climate change in the Mediterranean Sea. Global Change Biology, 24: 4919–4928.
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Pauly, D. (2009). Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. Fish Fish. 10, 235–251.
- Chiocchio, A., Santostasi, N.L., Pezzarossa, A., Bisconti, R., Maiorano, L., Canestrelli, D. (2024). Conserving genetic diversity hotspots under climate change: Are protected areas helpful? Biological Conservation, 299, p.110828.
- Comisión Europea. (2020). Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030: Reintegrar la naturaleza en nuestras vidas.
- Comisión Europea. Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries., 2018. Facts and figures on the common fisheries policy: basic statistical data: 2018 edition.
- Comité Español UICN (2019). Análisis de las especies en Lista Roja de la UICN en España: una llamada urgente a la acción.
- Dasgupta, P. (2024). The Economics of Biodiversity. In: The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. Cambridge University Press; 2024: i-ii.
- de Azevedo, J., Franco, J. N., Vale, C. G., Lemos, M. F. L., & Arenas, F. (2023). Rapid tropicalization evidence of subtidal seaweed assemblages along a coastal transitional zone. Scientific Reports, 13(1), 1–13.
- de la Hoz, C. F., Ramos, E., Puente, A., & Juanes, J. A. (2019). Climate change induced range shifts in seaweeds distributions in Europe. Marine Environmental Research, 148, 1–11.
- Dee, L.E., Miller, S.J., Helmstedt, K.J., Boersma, K.S., Polasky, S. & Reich, P.B. (2025). Author Correction: Quantifying disturbance effects on ecosystem services in a changing climate. Nature Ecology & Evolution, 9(4), p.735.
- Deguette, A., Barrote, I., & Silva, J. (2022). Physiological and morphological effects of a marine heatwave on the seagrass Cymodocea nodosa. Scientific Reports, 12(1), 1–13.
- Diez, J.M., D'Antonio, C.M., Dukes, J.S., Grosholz, E.D., Olden, J.D., Sorte, C.J.B., Blumenthal,

D.M., Bradley, B.A., Early, R., Ibáñez, I., Jones, S.J., Lawler, J.J., Miller, L.P., 2012. Will extreme climatic events facilitate biological invasions? Front. Ecol. Environ. 10, 249–257.

- Directiva 2014/52/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente., Diario Oficial de la Unión Europea 1 (2014).
- Dong, J. & Anderson, L. J. (2022). Predicted impacts of global change on bottom-up trophic interactions in the plant-ungulate-wolf food chain in boreal forests. Food Webs, 33, e00253.
- Duarte, C.M., Losada, I.J., Hendriks, I.E., Mazarrasa, I., Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. Nat. Clim. Chang. 3, 961–968.
- Dudgeon, D. (2019). Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. Current Biology, 29(19), pp. R960–R967.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J. & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews, 81, pp. 163-182.
- Dufour, F., Arrizabalaga, H., Irigoien, X., Santiago, J. (2010). Climate impacts on albacore and bluefin tunas migrations phenology and spatial distribution. Prog. Oceanogr. 86, 283–290.
- Dukes, J.S. & Mooney, H.A. (1999). Does global change increase the success of biological invaders? Trends in Ecology & Evolution, 14(4), pp.135–139.
- Eklund, G., Salvi, A., Antofie, T.-E., Sibila, A., Rodomonti, D., Salari, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z. & Corbane, C. (2023). Towards a European wide vulnerability framework: a flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España (EME) (2011). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- EUROPARC-España. (2024). Anuario 2023 del estado de las áreas protegidas en España. Madrid.
- European Commission (EC) (2021). Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the review of the application of Regulation (EU) No 1143/2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. COM (2021) 628 final, Brussels, 13 October 2021.
- European Environmental Agency (EEA) (2024). European Climate Risk Assessment (Publication No. 01/2024). Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (EME), 2011. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España: Síntesis de resultados. Madrid: Fundación Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Felicisímo, A.M. (coord.) (2011). Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático de la Biodiversidad Española. 1 Flora y Vegetación. Dirección general de medio Natural y Política Forestal., Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid, 552 páginas.
- Fernández de Castro, A. G., Navajas, A., & Fagúndez, J. (2018). Changes in the potential distribution of invasive plant species in continental Spain in response to climate change. Plant Ecology & Diversity, 11(3), 349–361.

- Feyen L., Ciscar J.C., Gosling S., Ibarreta D., Soria A. (editors) (2020). Climate change impacts and adaptation in Europe. JRC PESETA IV final report. EUR 30180EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-18123-1.
- Fialas *et al*., (2025). Changes in community composition and functional diversity of European bats under climate change. Conservation Biology. 2025; e70025.
- Filbee-Dexter, K., & Wernberg, T. (2018). Rise of Turfs: A New Battlefront for Globally Declining Kelp Forests. BioScience, 68(2), 64–76.
- Flowers, R.M. & Ehlers, T.A. (2018). Rock erodibility and the interpretation of low-temperature thermochronologic data. Earth Planet. Sci. Lett., 482, pp.312-323.
- Franco, J. N., Tuya, F., Bertocci, I., Rodríguez, L., Martínez, B., Sousa-Pinto, I., & Arenas, F. (2018). The 'golden kelp' Laminaria ochroleuca under global change: integrating multiple eco-physiological responses with species distribution models. Journal of Ecology, 106, 47–58.
- Gallardo, B. and Capdevila-Argüelles, L. (2024). Climate change and non-native species in the Spanish Network of National Parks. Biological Invasions, Volume 26, pages 4345–4361.
- Garrabou, J., Gómez-Gras, D., Medrano, A., Cerrano, C., Ponti, M., Schlegel, R. et al., (2022). Marine heatwaves drive recurrent mass mortalities in the Mediterranean Sea. Global Change Biology, 28(19), pp.5708-5725.
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P.L. & Montes, C. (2014). Valoración económica de los servicios de los ecosistemas suministrados por los ecosistemas de España (EMEC). Madrid: Evaluación de los Ecosistemas del Milenio de España (EME), Fundación Biodiversidad, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Mantyka-Pringle, C.S., Martin, T.G. & Rhodes, J.R., 2012. Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: A systematic review and meta-analysis. Global Change Biology, 18(4), pp.1239–1252.
- Gorostiaga, J., Irigoien, X., Borja, A., Fernandes, J., Chifflet, M., Gonzalez, M., Revilla, M., Bald, J., Valle, M., Garmendia, J., Valencia, V., Fontán, A., Chust, G. (2011). Biodiversidad, ecosistemas y recursos marinos, in: Cambio Climático: Impacto y Adaptación En La Comunidad Autónoma Del País Vasco. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco (Eds.). Vitoria-Gasteiz. Eusko Jaurlaritza., pp. 53–63.
- Guibourd de Luzinais, V., du Pontavice, H., Reygondeau, G., Barrier, N., Blanchard, J. L., Bornarel, V., Büchner, M., Cheung, W. W. L., Eddy, T. D., Everett, J. D. et al., (2023). Trophic amplification: A model intercomparison of climate driven changes in marine food webs. PLoS ONE, 18(8), e0287570.
- Harley, C.D.G. (2008). Tidal dynamics, topographic orientation, and temperature-mediated mass mortalities on rocky shores. Mar. Ecol. Prog. Ser. 371:37–46
- Harnik, P. G., Lotze, H. K., Anderson, S. C., Finkel, Z. V., Finnegan, S., Lindberg, D. R., Liow, L. H., Lockwood, R., McClain, C. R., McGuire, J. L., O'Dea, A., Pandolfi, J. M., Simpson, C., & Tittensor, D. P. (2012). Extinctions in ancient and modern seas. Trends in Ecology & Evolution, 27, 608–617.
- Heino, J., Virkkala, R. y Toivonen, H. (2009). Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. Biological Reviews, 84(1), pp.39–54.
- Herrero, A. & Zavala, M.A. (Eds.). (2015). Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

- Hjort, J., Gordon, J. E., Gray, M. & Hunter, M. L. (2015). Why geodiversity matters in valuing nature's stage. Conservation Biology, 29(3), pp.630-639.
- Holt, R.D. (1990). The microevolutionary consequences of climate change. Trends in Ecology & Evolution, 5(9), pp.311–315.
- Holzmann, K.L., Walls, R.L. & Wiens, J.J. (2023). Accelerating local extinction associated with very recent climate change. Ecology Letters, 26(11), pp.1877–1886.
- Hynes, H., B., N. (1975). 'The stream and its valley', Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie, 19, pp. 1–15.
- IEPNB MITECO (on-line). Inventario Español de Patrimonio Natural y Biodiversidad. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-espanol-patrimonio-natural-biodiv/componentes_iepnb.html
- IPBES (2024). Summary for Policymakers of the Thematic Assessment Report on the Interlinkages among Biodiversity, Water, Food and Health of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. McElwee, P. D., Harrison, P. A., van Huysen, T. L., Alonso Roldán, V., Barrios, E., Dasgupta, P., DeClerck, F., Harmáčková, Z. V., Hayman, D. T. S., Herrero, M., Kumar, R., Ley, D., Mangalagiu, D., McFarlane, R. A., Paukert, C., Pengue, W. A., Prist, P. R., Ricketts, T. H., Rounsevell, M. D. A., Saito, O., Selomane, O., Seppelt, R., Singh, P. K., Sitas, N., Smith, P., Vause, J., Molua, E. L., Zambrana-Torrelio, C., and Obura, D. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- IPBES (2022). Methodological Assessment Report on the Diverse Values and Valuation of Nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Balvanera P., Pascual U., Christie M., Baptiste B., González-Jiménez D.(eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science- Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages.
- IPBES (2018a): The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages.
- IPBES (2018b). The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia. Rounsevell, M., Fischer, M., Torre-Marin Rando, A. and Mader, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 892 pages.
- IPCC (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, et al., Eds.). Cambridge University Press. www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/
- IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L. et sl.., Eds.). Cambridge University Press.IPPC Secretariat. 2021. Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems. Rome. FAO on behalf of the IPPC Secretariat.

- Irisarri, P., Urrestarazu, J., Pina, A. (2024). Unlocking Spanish pear genetic diversity: strategies for construction of a national core collection. Scientific Reports, 14(1), p.26555.
- Isbell, F., Balvanera, P., Mori, A. S., He, J., Bullock, J. M., Regmi, G. R., Seabloom, E. W., Ferrier, S., Sala, O. E., Guerrero-Ramírez, N. R., Tavella, J., Larkin, D. J., Schmid, B., Outhwaite, C. L., Pramual, P., Borer, E. T., Loreau, M., Omotoriogun, T. C., Obura, D. O., Anderson, M., Portales-Reyes, C., Kirkman, K., Vergara, P. M., Clark, A. T., Komatsu, K. J., Petchey, O. L., Weiskopf, S. R., Williams, L. J., Collins, S. L., Eisenhauer, N. et al., (2023). Expert perspectives on global biodiversity loss and its drivers and impacts on people. Frontiers in Ecology and the Environment, 21(2), pp. 94–103.
- IUCN (2011). IUCN Red List of Threatened Species (ver. 2011.1). Available at: http://www.iucnredlist.org. (Accessed: 30 June 2017).
- Johnson, P.T., Olden, J.D., and Vander Zanden, M.J. (2008). Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions in freshwaters. Front. Environ. Sci. 6, 357–363.
- Jorda-Capdevila, D., Gampe, D., Huber García, V., Ludwig, R., Sabater, S., Vergoñós, L., Acuña, V. (2019) Impact and mitigation of global change on freshwater-related ecosystem services in Southern Europe'Science of the Total Environment, 651, pp. 895–908.
- Juroszek, P. & von Tiedemann, A. (2011). Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. Plant Pathology, 60: 100–112.
- Kerr, J.T et al., (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. Science, Vol 349 Issue 6244: 177-180.
- Kendrick, G.A., Nowicki, R.J., Olsen, Y.S., Strydom, S., Fraser, M.W., Sinclair, E.A., Statton, J., Hovey, R.K., Thomson, J.A., Burkholder, D.A., McMahon, K.M., Kilminster, K., Hetzel, Y., Fourqurean, J.W., Heithaus, M.R. & Orth, R.J. (2019). A systematic review of how multiple stressors from an extreme event drove ecosystem-wide loss of resilience in an iconic seagrass community. Frontiers in Marine Science, 6, 455.
- Kudo, G., & Ida, T. Y. (2013). Early onset of spring increases the phenological mismatch between plants and pollinators. Ecology, 94(10), 2311–2320.
- Lake, P. S. (2011). Drought and Perennial Waters: Plants and Invertebrates. In Drought and Aquatic Ecosystems: Effects and Responses (pp. 164–208). John Wiley & Sons, Ltd.
- Limburg, K.E., & Waldman, J.B. (2009). Dramatic declines in North Atlantic diadromous fi shes. BioScience 59, 955–965.
- Lorente, C., Corell, D., Estrela, M.J., Miró, J.J., Orgambides-García, D. (2024). Impact of Climate Change on the Bioclimatological Conditions Evolution of Peninsular and Balearic Spain During the 1953–2022 Period. Climate, 12(11), 183.
- Losapio, G., Lee, J. R., Fraser, C. et al., (Accepted: 2025) Impacts of deglaciation on biodiversity and ecosystem function. Nature Reviews Biodiversity. ISSN 3005-0677 (In Press).
- Luna-Aranguré, C., Estrada, F., Velasco, J.A., Calderón-Bustamante, O. & Gonzalez-Salazar, C. (2025). Environmental exposure of terrestrial biomes to global climate change: An n-dimensional approach. Ecosphere, 16(5), pp.1-11.
- Mantyka-Pringle, C.S., Martin, T.G. y Rhodes, J.R. (2012). Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: A systematic review and meta-analysis. Global Ecology and Biogeography, 18(4), pp.1239–1252.

- Marbà N, Duarte CM. (2010). Mediterranean warming triggers seagrass (Posidonia oceanica) shoot mortality. Glob. Change Biol. 16:2366–75.
- Marbà, N., Díaz-Almela, E., & Duarte, C. M. (2014). Mediterranean seagrass (Posidonia oceanica) loss between 1842 and 2009. Biological Conservation, 176, 183–190.
- Markovic, D., Carrizo, S. F., Kärcher, O., Walz, A. & David, J. N. W. (2017). 'Vulnerability of European freshwater catchments to climate change', Global Change Biology, 23(9), pp. 3567-3580.
- Martín, J. & López, P. (2013). Effects of global warming on sensory ecology of rock lizards: increased temperatures alter the ef cacy of sexual chemical signals. Functional Ecology, 27, 1332–1340.
- Martínez, B., Afonso-Carrillo, J., Anadón, R., Araújo, R., Arenas, F., Arrontes, J., Bárbara, I., Borja, A., Díez, I., Duarte, L., Fernández, C., García-Tasende, M., Gorostiaga, J.M., Juanes, J. A., Peteiro, C.; Puente, M.A., Rico, J.M., Sangil, C., Sansón, M. (2015). Algas, Boletín de la Sociedad Española de Ficología, 49. 2015: 5-12.
- Massimino, D., Alison, J., & and Pearce-Higgins, J. W. (2015). The geographical range of British birds expands during 15 years of warming. Bird Study, 62(4), 523–534.
- Matthews, T. J., Triantis, K. A., Wayman, J. P., Martin, T. E., Hume, J. P., Cardoso, P., Faurby, S., Mendenhall, C. D., Dufour, P., Rigal, F., Cooke, R., Whittaker, R. J., Pigot, A. L., Thébaud, C., Jørgensen, M. W., Benavides, E., Soares, F. C., Ulrich, W., Kubota, Y., ... Sayol, F. (2024). The global loss of avian functional and phylogenetic diversity from anthropogenic extinctions. Science, 386(6717), 55-60.
- MEA. (2005). Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report. In Island Press. Washington, DC. Retrieved from http://www.millenniumassessment.org//en/products.global.condition.aspx
- MedECC (2020) Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632pp. ISBN: 978-2-9577416-0-1.
- Ministerio de Igualdad. (2020). Género y cambio climático. Un diagnóstico de situación.
- MITECO. (2006). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).
- MITECO (2020a). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (Depósito legal: M-29241-2020)
- MITECO (2020b). PIMA Adapta Costas [Proyecto dentro del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Oficina Española de Cambio Climático.
- MITECO. (2021). Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas.
- MITECO. (2022b). Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación.
- MITECO. (2023a). Informe Anual 2023 sobre el estado del Patrimonio Natural y Biodiversidad en España. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/iepnb/informes/InformeIEPNB_2023.pdf.
- MITECO. (2023b). Plan Estratégico Estatal del Patrimonio Natural y de la

Biodiversidad a 2030. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/publicaciones/estrategias/peepnb2030-difusion.pdf.

- Moratilla, F. E. (coord.) (2010) Valoración de los activos naturales de España. Sostenibilidad y desarrollo. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 84-491-1017-3.
- Moritz, C. & Agudo, R. (2013). The future of species under climate change: resilience or decline? Science, 341(6145), pp.504–508.
- Munstermann, M.J., Heim, N.A., McCauley, D.J., Payne, J.L., Upham, N.S., Wang, S.C. & Knope, M.L. (2022). A global ecological signal of extinction risk in terrestrial vertebrates. Conservation Biology, 36(3), e13852.
- Naiman, R. J. & Latterell, J. J. (2005). Principles for linking fish habitat to fisheries management and conservation. Journal of Fish Biology, 67 (Supplement B), pp. 166-185.
- Nikolaou, A., Katsanevakis, S. (2023). Marine extinctions and their drivers. Reg Environ Change 23, 88.
- Oliver, T., Marshall, H., Morecroft, M. et al., (2015). Interacting effects of climate change and habitat fragmentation on drought-sensitive butterflies. Nature Climate Change, 5, pp.941–945.
- Ondiviela, B., Losada, I. J., Lara, J. L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T. J., & van Belzen, J. (2014). The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. Coastal Engineering, 87, 158–168.
- Orihuela-Rivero, R., Morente-López, J., Reyes-Betancort, J. A., Schaefer, H., Valido, A., Menezes De Sequeira, M., et al., (2025). Database of local and global extinct species, biogeographical variables, and biological traits of the Macaronesian vascular flora [Data set]. DIGITAL.CSIC.
- Otero, J., L'Abée-Lund, J. H., Castro-Santos, T., Leonardsson, K., Storvik, G. O., Jonsson, B., Dempson, B., Russell, I. C., Jensen, A. J., Baglinière, J.-L., Dionne, M., Armstrong, J. D., Romakkaniemi, A., Letcher, B. H., Kocik, J. F., Erkinaro, J., Poole, R., Rogan, G., Lundqvist, H. et al., (2014). Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (Salmo salar). Global Change Biology, 20(1), 61–75.
- Pallarés, S., Millán, A., Mirón, J. M., Velasco, J., Sánchez-Fernández, D., Botella-Cruz, M. & Abellán, P. (2020) 'Assessing the capacity of endemic alpine water beetles to face climate change', Insect Conservation and Diversity, 13(3), pp. 271–282.
- Parmesan, C., & Hanley, M. E. (2015). Plants and climate change: complexities and surprises. Annals of Botany, 116(6), 849–864.
- Pecl, G.T. et al., (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. Science 355, eaai9214.
- PIMA Adapta (2020). Conocimiento y acción frente a los riesgos derivados del cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/pimaadapta2020_tcm30-521929.pdf
- Pisano, A., Marullo, S., Artale, V., Falcini, F., Yang, C., Leonelli, F. E., Santoleri, R. & Buongiorno Nardelli, B. (2020). New Evidence of Mediterranean Climate Change and Variability from Sea Surface Temperature Observations. Remote Sensing, 12(1), p.132.
- Pugnaire et al., (2019). Climate change effects on plant-soil feedbacks and consequences

for biodiversity and functioning of terrestrial ecosystems. Sci. Adv. 2019; 5: eaaz1834.

- Pyke, C.R. (2004). Habitat loss confounds climate change impacts. Frontiers in Ecology and the Environment, 2(4), pp.178–182.
- Pyšek, P., Hulme, P.E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T.M., Carlton, J.T., Dawson, W., Essl F., Foxcroft, L.C., Genovesi, P., Jeschke, J.M., Kühn, I., Liebhold, A.M., Mandrak, N.E., Meyerson, L.A., Pauchard, A., Pergl J., Ro,y H.E., Seebens, H., Kleunen M., Vilà, M., Wingfield, M.J., Richardson, D.M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. Biological Reviews, 95, 6: 1511–1534.
- Reisinger, A., Meinshausen, M., van Aalst, M., Cui, D., Hawkins, E., Hegerl, G., Knutti, R., Leprince-Ringuet, N., Mastrandrea, M., Oppenheimer, M., Pachauri, R.K., Plattner, G.-K., Rojas Corradi, M., Rusticucci, M., Skea, J., Takahashi, K., Tignor, M., van Vuuren, D. & Zommers, Z., (2020). The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. Guidance for IPCC Authors. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 20 pp.Renner, S.S. & Zohner, C.M., 2018. Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 49, pp.165–182.
- Richerzhagen, D., Racca, P., Zeuner, T., Kuhn, C., Falke, K., Kleinhenz, B. & Hau, B. (2011). Impact of climate change on the temporal and regional occurrence of Cercospora leaf spot in Lower Saxony. Journal of Plant Diseases and Protection, 118: 168–177.
- Roca, M., Dunbar, M.B., Román, A., Caballero, I., Zoffoli, M.L., Gernez, P. & Navarro, G. (2022). Monitoring the marine invasive alien species Rugulopteryx okamurae using unmanned aerial vehicles and satellites. Front. Mar. Sci. 9:1–15.
- Román-Palacios, C. & Wiens, J.J. (2020). Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival., Proceedings of the National Academy of Sciences, 117, 4211–4217.
- Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Sayer, C.A., Fernando, E., Jimenez, R.R. et al., (2025). One-quarter of freshwater fauna threatened with extinction. Nature, 638(8049), 138-145.
- Scheffers, B.R., De Meester, L., Bridge, T.C.L., Hoffman, A.A., Pandolfi ni, J.M., Corlett, R.T., Butchart, S.H.M., Pearce-Kelly, P.P., Kovacs, K.M., Dudgeon, D., et al., (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. Science 354, aaf7671–aaf7671.
- Seddon, A., Macias-Fauria, M., Long, P. et al., (2016). Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. Nature 531, 229–232.
- Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E. et al., (2015). InVEST +VERSION+ User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Smale, D. A., Teagle, H., Hawkins, S. J., Jenkins, H. L., Frontier, N., Wilding, C., King, N., Jackson-Bué, M., & Moore, P. J. (2022). Climate-driven substitution of foundation species causes breakdown of a facilitation cascade with potential implications for higher trophic levels. Journal of Ecology, 110(9), 2132-2144.

- Smith, K. E., Aubin, M., Burrows, M. T., Filbee-Dexter, K., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., et al., (2024). Global impacts of marine heatwaves on coastal foundation species. Nature Communications, 15(1), 5052.
- Smith, K. E., Burrows, M. T., Hobday, A. J., King, N. G., Moore, P. J., Sen Gupta, A., Thomsen, M. S., Wernberg, T., & Smale, D. A. (2023). Biological Impacts of Marine Heatwaves. Annual Review of Marine Science, 15, 119–145.
- Souza, A.T., Dias, E., Antunes, C. & Ilarri, M. (2023). Disruptions caused by invasive species and climate change on the functional diversity of a fish community. NeoBiota, 88, pp.211-244.
- Strayer, D.L. (2010). Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. Freshwater Biol. 55, 152–174.
- Subedi, B., Poudel, A. & Aryal, S., 2023. The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. Journal of Agriculture and Food Research, 14, p.100733.
- Torreblanca, D.; Báez, J.C. (2025). Tropicalization of the Mediterranean Sea Reflected in Fish Diversity Changes: A Case Study from Spanish. Waters. J. Mar. Sci. Eng., 13, 1119.
- Thakur, M.P. (2020). Climate warming and trophic mismatches in terrestrial ecosystems: the green–brown imbalance hypothesis. Biol. Lett. 16: 20190770.
- Timóteo, S., Albrecht, J., Rumeu, B., *et al.*, (2023). Tripartite networks show that keystone species can multitask. Functional Ecology, 37(2), 415-427.
- Trębicki, P. (2020). Climate change and plant virus epidemiology. Virus Research, 286, p.198059.
- UICN (2022). Lista Roja de la UICN España. https://www.uicn.es/listarojauicnespana2022/
- Vandelli, V., Selmi, L., Faccini, F., Ferrando, A. & Coratza, P. (2024). Geo-heritage Degradation Risk Assessment: Methodologies and Insights. Sustainability, 16(23), p.10336.
- Vasiliev, D., & Greenwood, S. (2021). The role of climate change in pollinator decline across the Northern Hemisphere is underestimated. Science of The Total Environment, 775, 145788.
- Vegas, J., González-Roquero, M., Díez-Herrero, A., Lozano, G., Martín-González, E., Sánchez, N., & Romero, c. (2024). Monitorización del impacto del cambio climático en el patrimonio geológico del Parque Nacional del Teide (Tenerife, Islas Canarias). Geo-Temas 20, ISSN: 1576-5172.
- Verdura, J., Linares, C., Ballesteros, E., Coma, R., Uriz, M. J., Bensoussan, N., & Cebrian, E. (2019). Biodiversity loss in a Mediterranean ecosystem due to an extreme warming event unveils the role of an engineering gorgonian species. Scientific Reports, 9(1), 1–11.
- Wang, Z., Liu, G.C.S., Burton, G.A., and Leung, K.M.Y. (2019). Thermal extremes can intensify chemical toxicity to freshwater organisms and hence exacerbate their impact to the biological community. Chemosphere 224, 256–264.
- Weiskopf, S.R., Rubenstein, M.A., Crozier, L.G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J.E., Hyde, K.J.W., Morelli, T.L., Morisette, J.T., Muñoz, R.C., Pershing, A.J., Peterson, D.L., Poudel, R., Staudinger, M.D., Sutton-Grier, A.E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J.F. & Whyte, K.P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. Science of the Total Environment, 733, p.137782.

- Wernberg, T., Thomsen, M. S., Baum, J. K., Bishop, M. J., Bruno, J. F., Coleman, M. A., Filbee-Dexter, K., Gagnon, K., He, Q., Murdiyarso, D., Rogers, K., Silliman, B. R., Smale, D. A., Starko, S., & Vanderklift, M. A. (2024). Impacts of Climate Change on Marine Foundation Species. Annual Review of Marine Science, 16(Volume 16, 2024), 247–282.
- Whitham, T.G., Bailey, J.K., Schweitzer, J.A., Shuster, S.M., Bangert, R.K., LeRoy, C.J., Lonsdorf, E.V., Allan, G.J., DiFazio, S.P., Potts, B.M., Fischer, D.G., Gehring, C.A., Lindroth, R.L., Marks, J.C., Hart, S.C., Wimp, G.M. y Wooley, S.C. (2006). A framework for community and ecosystem genetics: From genes to ecosystems. Nature Reviews Genetics, 7(7), pp.510–523.
- Wiens, J.A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C.A. & Snyder, M.A. (2009). Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(2), pp.19729–19736.
- Wiens, J.J. (2016). Climate-related local extinctions are already widespread among plant and animal species. PLOS Biology, 14(12), e2001104.
- Wiens, J.J. (2024). How many species will Earth lose to climate change? Global Change Biology, 30(1), pp.1–3.
- Winemiller, K.O., McIntyre, P.B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., Baird, I.G., Darwall, W., Lujan, N.K., Harrison, I., *et al*., (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. Science 351, 128–129.
- Woodward, F. I., Lomas, M. R., & Kelly, C. K. (2004). Global Climate and the Distribution of Plant Biomes. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, Vol. 359, No. 1450, 2004, pp. 1465-1476.
- Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M. y Aspizua, R. (editores). (2015). La huella del cambio global en Sierra Nevada: Retos para la conservación. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. 208 pp.
- Zohner, C.M., Mo, L. & Renner, S.S. (2018). Global warming reduces leaf-out and flowering synchrony among individuals. eLife, 7, e40214.

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Sector forestal, desertificación,
caza y pesca continental

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autores: José Manuel Moreno Rodríguez (Universidad de Castilla-La Mancha), Rocío A. Baquero Noriega (Universidad de Castilla-La Mancha), M. Belén Hinojosa Centeno (Universidad de Castilla-La Mancha), Antonio Parra de la Torre (Universidad de Castilla-La Mancha), Itziar Rodríguez Urbieta (Universidad de Castilla-La Mancha), Iván Torres Galán (Universidad de Castilla-La Mancha), Olga Viedma Sillero (Universidad de Castilla-La Mancha)

Agradecimientos: Roxana Triguero-Ocaña

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Moreno Rodríguez, J.M., Baquero Noriega, R.A, Hinojosa Centeno, M. B., Parra de la Torre, A., Rodríguez Urbieta, I., Torres Galán, I. y Viedma Sillero, O. (2025) Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 493

2. Introducción / pág. 495

3. Marco conceptual de los riesgos del sector / pág. 499

3.1. Componentes del riesgo / pág. 499

3.2. Factores de riesgo subyacentes / pág. 503

4. Descripción de los riesgos: Riesgos relevantes / pág. 506

4.1. RR4.1 Riesgo de pérdida de hábitat favorable para las especies forestales y de biodiversidad forestal (genética, especies) como consecuencia de cambios en los valores medios y extremos del clima. / pág. 507

4.2. RR4.3 Riesgo de pérdida de salud del estado de los bosques por aumento de especies patógenas y plagas favorecidas por el cambio climático, así como por el aumento de las condiciones de estrés que este conlleva para las especies vegetales. / pág. 509

4.3. RR4.6 Riesgo de pérdida de capacidad de producción de madera y fibra por cambios en las variables climáticas. / pág. 510

4.4. RR4.7 Riesgo de pérdida de producción de productos forestales no maderables por cambios en las variables climáticas / pág. 512

4.5. RR4.11. Riesgo de pérdida de recursos cinegéticos y pesqueros continentales derivados de la pérdida de productividad vegetal terrestre y de los cambios del hábitat acuático como consecuencia del cambio climático / pág. 514

5. Riesgos clave / pág. 516

5.1 RC4.1 Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima / pág. 517

5.2. RC4.2 Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo de los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema / pág. 533

5.3. RC4.3 Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas / pág. 539

5.4. RC4.4 Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales / pág. 550

5.5. RC 4.5 Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático / pág. 569

5.6. RC4.6 Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos (regulación del ciclo hidrológico, protección frente a la erosión, valores recreativos y de conservación) de los bosques debido a los cambios del clima / pág. 587

6. Análisis de riesgos complejos / pág. 590

7. Caso de estudio / pág. 596

8. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 598

9. Referencias / pág. 600

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **capítulo del sector "Forestal, Desertificación y Caza y Pesca Continental"** de la **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025).**

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su sexto informe de evaluación (IPCC, 2022). Según él, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la interacción de tres componentes: el peligro, la exposición y la vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta el peligro de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de ellos. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir el peligro, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que estos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevado a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, lo que ha permitido identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre el listado inicial de riesgos relevantes, se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) como

[1] Se define como riesgo relevante aquel que, directa o indirectamente derivado del cambio climático, tiene el potencial de generar consecuencias adversas significativas para los sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden generar impactos en el presente y cuya severidad podría aumentar con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición o en la vulnerabilidad de los elementos analizados frente a dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio, los riesgos clave se identifican de manera comparada intrasectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos en cascada y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una introducción que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el marco conceptual de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados los riesgos clave, se hace un análisis detallado de ellos mediante cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el apartado de limitaciones y particularidades metodológicas recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la bibliografía reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

Se entiende por terreno forestal o monte aquel que resulta de agregar dos tipos diferentes de superficies, las arboladas y las desarboladas. Las primeras son aquellas pobladas por especies forestales arbóreas en las que la fracción de cabida cubierta (FCC) es superior o igual al 10 % y su uso preferente no es agrícola ni urbano, sino forestal. Las segundas son aquellas en las que la FCC es menor del 10 %, y pueden estar compuestas por monte arbolado disperso o monte desarbolado, como matorrales, tomillares, pastizales o afloramientos rocosos (MAGRAMA, 2014). En España, los terrenos forestales ocupan 28,4 M[3] ha, lo que equivale al 56 % del territorio, de los cuales 19,2 M ha son arbolados (67,6 % del monte total) y 9,2 M ha desarbolados (32,4 % del monte) (MITECO, 2024a). La mayor parte del terreno forestal en España es de propiedad privada (72 %), mientras que el resto es público, perteneciendo en su mayoría a entidades locales (22 %). El 25,5 % de la superficie forestal es monte de utilidad pública (MUP). El 40 % del terreno forestal es espacio natural protegido o Red Natura 2000 (MITECO, 2024a). España es el segundo país de la UE con mayor superficie forestal y el tercero en cuanto al porcentaje de ocupación (MAGRAMA, 2014).

La superficie forestal española llegó a ocupar un mínimo en el año 1940, con 24 M ha, tras lo cual ha crecido ininterrumpidamente hasta la actualidad (Bravo *et al.*, 2017). Este capítulo se centrará en los ecosistemas forestales arbolados, mientras que los desarbolados serán objeto del Capítulo 3. Por otra parte, este capítulo abordará también el problema de la desertificación y su vínculo con el cambio climático. Este fenómeno engloba aspectos socioecológicos como factores subyacentes y afecta a los ecosistemas terrestres, ya sean naturales o antrópicos. Además, se tratarán los temas de la caza y pesca continental, cuya relevancia trasciende el ámbito estrictamente forestal.

La península ibérica e Islas Baleares se encuentran en latitudes medias, y su clima es templado. No obstante, existe una gran variación geográfica en las temperaturas y precipitaciones debido a la elevada orografía. Las montañas afectan a los frentes que barren la península, creando zonas en sombra de lluvia. Por ello, aunque existe un gradiente norte-sur de precipitaciones, estas son muy variables, dependiendo de la posición con respecto a las principales cordilleras. Las mayores diferencias se dan entre la zona costera occidental de Galicia, donde las precipitaciones anuales superan ampliamente los 1.000 mm, y el sureste (Alicante, Murcia, Almería), donde las precipitaciones anuales son inferiores a 300 mm, siendo el Cabo de Gata el lugar más seco de la España peninsular, con 156 mm anuales. Para la vegetación, otro aspecto importante es la presencia de un verano seco. Así, en el norte peninsular el clima es lluvioso y sin sequía estival, mientras que al

[3] Abreviaturas: M= millón, k= mil; a= año; t= tonelada; ha= hectárea.

sur de la Cordillera Cantábrica y los Pirineos el clima es mediterráneo, con su característica sequía estival. El clima de las Islas Canarias es subtropical oceánico, seco en verano y variable según la topografía. En las zonas inferiores, las precipitaciones son muy bajas (menos de 200 mm anuales), aumentando con la altitud y exposición a los vientos alisios, particularmente donde se forman nieblas persistentes. Una de las características más sobresalientes de las islas es la formación del mar de nubes (Martín Vide & Olcina Cantos, 2001).

A la variación climática, se suma la diversidad de los sustratos geológicos, con materiales ácidos predominando en el oeste y básicos en el este. Algunos de ellos presentan características singulares y se comportan como verdaderas islas ecológicas (p. ej. dolomías o yesos). Esta variación climática, topográfica, geomorfológica y edáfica hace que la península ibérica sea un "área crítica" de biodiversidad (Medail & Quézel, 1997). Sus bosques son singulares con respecto a los centroeuropeos por varias razones adicionales: algunas de nuestras especies tienen su origen y centro de distribución principal en la península ibérica, pues apenas llegan a otros países (p. ej. *Quercus pyrenaica*, *Pinus nigra* subs. *salzmannii*, *Q. faginea*, *P. pinaster*); otras especies tienen conexiones con el norte de África (*Q. canariensis*, *Abies pinsapo.*, *Tetraclinis articulata*), lo cual es una rareza europea; la península es el límite meridional de algunas de las especies dominantes en el centro del continente (*Fagus sylvatica*, *Betula* sp. pl., *Q. robur*) (Sainz Ollero & Sánchez de Dios, 2011); un número importante de refugios climáticos se encuentra en la España peninsular e Islas Baleares, los cuales sirvieron de base para la colonización del continente tras la última glaciación, constituyendo las reservas genéticas de muchas especies vegetales y animales que hoy dominan en el continente (Hewitt, 1999). Por otro lado, los bosques de las Islas Canarias son también particulares por cuanto *P. canariensis* es endémico de ellas, mientras que la laurisilva es común a dichas islas y a las otras islas atlánticas (Madeira y Azores) (Fernández-Palacios, 2009).

El 54 % de la superficie de bosque está dominada por especies frondosas, un 35 % por coníferas y un 7 % por bosque mixto. Las especies nativas más abundantes incluyen coníferas como *P. halepensis*, *P. pinea*, *P. pinaster*, *P. canariensis*, *P. nigra*, *P. sylvestris*, *P. uncinata*, y frondosas *como Q. ilex*, *Q. suber*, *Q. pyrenaica*, *Q. faginea*, *Q. petraea*, *Q. robur*, *F. sylvatica* y *Castanea sativa*. Las especies forestales no nativas más abundantes son: *P. radiata* y *Eucalyptus globulus*. En general, los bosques españoles presentan una mayor riqueza específica que los europeos: el 17 % de ellos cuenta con una o dos especies, el 20 % con dos o tres, y el resto con tres o más especies[4]. La tendencia actual es aumentar el número de especies por unidad de superficie, lo que está favoreciendo el predominio de bosques mixtos. Esto se debe a que los bosques monoespecíficos de coníferas están siendo progresivamente colonizados por especies frondosas o de hoja ancha (Sánchez de Dios *et al.*, 2023).

[4] https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/c5_principalesespeciesarboreasmiscelanea_ff_tcm30-153987.pdf

Los principales aprovechamientos comerciales del sector forestal en España son la producción de madera y leña. Las existencias totales de madera ascienden a 1.175 Mm^3; su crecimiento anual es de 47 Mm^3, con una productividad media de 67 m^3 por hectárea, lo que equivale a un 40 % de la de los bosques de la UE. La extracción de madera se ha mantenido relativamente estable en la última década, alcanzando en los últimos años los 20,3 Mm^3, de los cuales el 56 % son coníferas y el 44 % frondosas. La tasa de extracción media (balance de cortas frente al crecimiento) se sitúa en torno al 43 % (MITECO, 2024a).

El principal destino de la madera cortada es la producción de pulpa de papel (60 %) y el segundo es el aserradero (26 %), cuyo uso principal es la construcción. El valor de lo cortado asciende a 1.008M €. El valor añadido bruto de la silvicultura y la industria de la madera y el papel fue de 7.083 M€, lo que equivale a un 0,6 % del PIB, de los cuales el 14 % corresponden a la silvicultura y explotación forestal, el 29 % a la industria del corcho y la madera, y el resto a la industria del papel (datos de 2019) (MITECO, 2021). El sector está muy atomizado, existiendo 4.039 empresas y 5.399 autónomos (MITECO, 2020). Los empleados por el sector durante la última década fueron 30.000 en la categoría de silvicultura y explotación forestal, 63.100 en la industria del corcho y la madera y 43.600 en la industria del papel, de los cuales el 85 % fueron hombres[5].

La extracción de leña es de 1,4 Mt, con un valor de 48,2 M€. En general, las especies de *Quercus*, particularmente *Q. ilex*, son las que mayor valor aportan a este capítulo. Los montes proveen otros productos no maderables como corcho (53,4 kt), resina (8,8 kt), castañas (10,7 kt), piñones (2 kt), hongos (9,8 kt), trufas (7,5 t), por un valor total de 242 M€ (MITECO, 2024a). Los pastos forestales son también otra producción importante de los montes, aunque estos no serán tratados en este capítulo.

La caza es un aprovechamiento importante del monte y otros terrenos, incluidos los agrícolas. Más del 87 % del territorio español está sujeto a algún tipo de figura de gestión cinegética, lo que supone un área total de 43,8 Mha, repartida en más de 31.700 cotos de caza (Anthesis Lavola, 2021). En cuanto a la pesca continental, esta actividad se desarrolla en más de 3.700 cursos y masas de agua, sumando más de 47.000 km de cursos fluviales y embalses (Anthesis Lavola, 2021). En 2022, había en España 1,3 M de licencias, que realizaron 19,1 M de capturas, con una biomasa total de 13,4 M kg, el 75 % de caza mayor y el resto de caza menor. El valor total de las capturas ascendió a 44 M€. La especie más abatida es el jabalí, que supone el 61 % de las capturas, seguido del ciervo. En caza menor de mamíferos se capturaron más de 6 M de ejemplares. El 93 % de las capturas son de conejo. Más de 12 M de aves fueron capturadas, siendo las especies más cazadas el zorzal, la paloma y la perdiz. Las licencias de pesca ascendieron a 716.937, que realizaron 755.645 capturas, de las cuales un 58,3 % fueron de trucha común. El valor económico de las licencias ascendió a 5,7 M€ (MITECO, 2024a).

[5] Datos de la encuesta de población activa del Instituto Nacional de Estadística (INE), volcados el 12/04/2025.

Los bosques producen también otros servicios ecosistémicos cuyo valor no es comercial, entre los que se incluyen la provisión de agua para distintos usos (agrícola, industrial, doméstico, energético), la captura del CO_2 atmosférico, el control de la erosión, los servicios recreativos o la conservación de la biodiversidad.

La degradación de la tierra (DT), aunque afecta al conjunto del territorio, está muy íntimamente ligada al papel de los bosques en sentido amplio, por lo que se abordará en este capítulo. Se entiende por degradación de la tierra "una tendencia negativa en la condición de la tierra, causada por procesos directos o indirectos inducidos por el hombre, incluido el cambio climático antropogénico, que se expresa como la reducción o pérdida a largo plazo de al menos uno de los siguientes factores: productividad biológica, integridad ecológica o valor para los seres humanos". Cuando los terrenos afectados son las tierras secas, esto es, tierras de clima árido, semiárido y seco-subhúmedo, la degradación de la tierra recibe el nombre de desertificación (DS) (IPCC, 2019).

En lo sucesivo usaremos DT/DS para referirnos a ambos procesos conjuntamente. Frecuentemente, la erosión del suelo se ha considerado como sinónimo de DT/DS. Sin embargo, la DT/DS es multicausal, e influyen factores físicos, biológicos, sociológicos y económicos (Millennium Ecosystem Assessment Board, 2005). En España, aproximadamente el 74 % del territorio es susceptible de sufrir desertificación en diversos grados, principalmente por el clima, la erosión del suelo, la ocurrencia de incendios forestales y el uso excesivo de los recursos hídricos (MIMAM, 2008). Desde mediados del siglo pasado se ha producido un reverdecimiento de la geografía española debido a la reforestación y extensión de matorrales tras el abandono de zonas poco productivas, entre otros. Así, desde 1980 hasta 2023 el 77,1 % del territorio mejoró su producción primaria (Bai *et al.*, 2025). Sin embargo, la DT/DS ha aumentado considerablemente debido a la intensificación agrícola (Martínez-Valderrama *et al.*, 2022).

3. Marco conceptual de los riesgos del sector

3.1. Componentes del riesgo

Los riesgos se han identificado por su potencial de afectar a la integridad del ecosistema forestal, incluyendo su biodiversidad, así como a los servicios ecosistémicos que este presta y a la población que de ellos depende. La integridad del ecosistema hace referencia al grado en que este se encuentra en un estado completo y funcional. Esto incluye su capacidad para sostener tanto a las especies autóctonas como a los procesos ecológicos que los caracterizan, así como los servicios que proporcionan, entre ellos la provisión de materias primas y otros beneficios.

La caracterización de la integridad del ecosistema incluye las siguientes variables: composición, esto es, el conjunto de seres vivos del ecosistema; estructura, esto es, cómo los seres vivos se disponen en el espacio; función, esto es, los procesos que se dan en el ecosistema, como la asimilación del carbono, el crecimiento, las interacciones entre sus organismos o las perturbaciones que le son propias. La biodiversidad es una parte capital de la integridad del ecosistema en la medida en que las acciones de los seres vivos del mismo son determinantes de sus procesos ecológicos.

En cuanto a los servicios ecosistémicos, se ha utilizado la clasificación utilizada para la valoración de dichos servicios de España (MARM, 2008). Estos se dividen en cuatro categorías básicas: abastecimiento (alimentos, otros productos primarios, etc.), regulatorios (del clima, del agua, etc.), culturales (estéticos, recreativos, etc.) o de apoyo (formación del suelo, ciclado de nutrientes, etc.).

La evaluación del riesgo se ha realizado siguiendo el marco facilitado en el capítulo de metodología, que usa el propuesto por el IPCC en su Informe Especial SRES (IPCC, 2012): el riesgo surge por la interacción entre los peligros del clima, incluyendo los del cambio climático, la exposición y la vulnerabilidad. Los peligros climáticos y del cambio climático incluyen los efectos provocados por las variaciones tanto en los valores medios como en los extremos de las principales variables meteorológicas (temperatura, precipitación, humedad relativa y viento). Por otro lado, el clima y el cambio climático pueden interaccionar con otros factores subyacentes que también afectan a los bosques: los cambios de uso del suelo, el aumento de la concentración atmosférica de CO_2, las enfermedades y plagas, las especies exóticas invasoras y los cambios en las perturbaciones, particularmente el fuego.

En el Capítulo "Variables climáticas" se puede ver la descripción, los valores observados y las proyecciones de evolución de cada una de las variables climáticas que caracterizan los peligros climáticos.

Por exposición se entiende "la presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse negativamente afectados" por el clima o el cambio climático. En consecuencia, y en coherencia con lo expuesto anteriormente, la exposición en el caso de los bosques incluye tanto la integridad del ecosistema forestal, con sus correspondientes componentes —incluyendo la biodiversidad— como los distintos servicios ecosistémicos que presta (Lecina-Díaz *et al.*, 2021). Este capítulo no aborda la exposición e impactos de los alérgenos de las plantas (Mousavi *et al.*, 2024) o del humo de los incendios (Linares *et al.*, 2018), toda vez que estos aspectos serán tratados en el capítulo Salud humana.

Los impactos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos de este sector afectan de forma directa o indirecta a las poblaciones que dependen de ellos, en particular las comunidades rurales, así como a los sectores económicos vinculados.

La vulnerabilidad de los ecosistemas forestales se ha evaluado siguiendo el criterio común establecido en la metodología, considerándose sus cinco dimensiones: física/infraestructuras, económica, social, política o de gobernanza y ambiental. Por lo que respecta a la primera (vulnerabilidad física), la explotación del bosque requiere, entre otros, de pistas forestales que pueden sufrir deterioro por lluvias extremas, particularmente tras los incendios forestales, de manera particular los muy grandes y severos (Scott *et al.*, 2009). La elevada rugosidad del territorio forestal es un factor que contribuye a ello, pues los incendios se propagan mejor a favor de la pendiente (Viedma *et al.*, 2020). La concatenación de dos eventos extremos (incendio forestal y lluvia torrencial) puede tener consecuencias importantes sobre la estabilidad del terreno, particularmente en las zonas donde este tipo de lluvia es más propensa (p. ej. áreas mediterráneas), a lo que, además, puede contribuir la gestión forestal postincendio (Francos *et al.*, 2019).

En cuanto a la vulnerabilidad económica, la más relevante, aunque no la única, es la relacionada con la explotación de la madera. En general, la industria de la madera o sus derivadas (mueble y papel) presenta un bajo grado de concentración espacial, con la excepción del papel, que muestra una mayor agregación. Durante la última década, el sistema se ha comportado con relativa estabilidad, con la única excepción de la crisis de 2008 (MITECO, 2024a), de la que ha logrado recuperarse, mostrando actualmente una tendencia al alza. Dado que el nivel de extracción es bajo, se puede considerar que el sector cuenta con un margen significativo para aumentar la obtención de materia prima ante disminuciones de crecimiento temporales debidas al cambio del clima.

La vulnerabilidad social se refiere al grado en que las poblaciones que viven dependientes de los bosques y sus servicios ecosistémicos (p. ej. pequeños propietarios, normalmente de edad avanzada y con poca capacidad de gestión) son susceptibles a los impactos del cambio climático sobre estos ecosistemas, así como a su capacidad para afrontarlos y adaptarse. En general, la capacidad de hacer frente al cambio climático es menor cuanto menor sea el nivel de ingresos y, en este sentido, las poblaciones que viven del monte no son una excepción frente a poblaciones que dependen de otros sectores más avanzados y con mayores rentas. Por otro lado, el sector está muy atomizado, y la mayoría de los empleos que genera son de bajo nivel de formación y con un alto nivel de temporalidad (MITECO, 2020). No obstante, la persistencia en el tiempo de los servicios ligados a la producción forestal genera un mayor grado de empleos industriales y una mayor estabilidad de la población en las áreas forestales (Ortuño Pérez & Martín Fernández, 2006; Pérez *et al.*, 2013).

La vulnerabilidad relativa a la gobernanza se refiere al grado de regulación de los usos y gestión de los bosques, en tanto que si es deficiente puede afectar negativamente a su integridad. En lo que respecta a la planificación y gestión forestal sostenible, los bosques españoles están sujetos a instrumentos de ordenación forestal, así como a otras figuras de planificación y protección, nacionales o internacionales. En el año 2021, aproximadamente el 20 % de los bosques estaban sometidos a ordenación forestal, el 41 % a conservación mediante las figuras de espacio natural protegido (ENP) o Red Natura 2000, con, en su caso, sus correspondientes planes de uso y gestión. Considerando otras figuras internacionales de protección, la superficie total sometida a ordenación ascendía al 49 %. Además, parte de la superficie forestal arbolada está sometida a certificación según el sistema FSC (Forest Stewardship Council) (2 % de la superficie arbolada) o PEFC (Programa para el Reconocimiento de la Certificación Forestal) (13 % de la superficie arbolada). Más aún, existen otras figuras de ordenación regional: planes de prevención de incendios, planes de ordenación de los recursos naturales, planes y proyectos silvopastoriles, planes de restauración hidrológico-forestal o planes cinegéticos, entre otros. En la medida en que estos planes permiten reducir el nivel de estrés sobre los bosques (p. ej. reduciendo el grado de intervención humana sobre los mismos), o aumentar su capacidad de respuesta frente a los extremos climáticos (p. ej. la reducción de la competencia intra o interespecífica facilita la persistencia de los individuos bajo situaciones de estrés hídrico) permite argüir que los bosques españoles gozan de un cierto nivel de gestión sostenible (Vadell *et al.*, 2022) y de protección frente a la variabilidad climática y el cambio climático, lo que disminuye su vulnerabilidad frente a tales cambios. La planificación a largo plazo, que incluye, entre otros factores, al cambio climático (p. ej. Plan Forestal Español 2022-2032: Estrategia Forestal Española Horizonte 2050), como consecuencia de los compromisos políticos nacionales e internacionales, permite pensar que el nivel de protección se mantendrá e incluso aumentará en el futuro, cambiando ciertos aspectos de su gestión para incluir la multifuncionalidad de los bosques, entre otros aspectos (Vadell *et al.*, 2022).

La vulnerabilidad ambiental o ecológica de los ecosistemas forestales hace referencia a su susceptibilidad y capacidad para afrontar y adaptarse a los impactos del cambio climático. Este aspecto es particularmente relevante en este sector, al ser un tipo de ecosistema el foco del riesgo. En términos generales, los ecosistemas forestales españoles son altamente diversos (p. ej. más del 80 % de los bosques tienen dos o más especies de árboles) (MAGRAMA, 2014; Sainz Ollero & Sánchez de Dios, 2011), debido a la diversidad de climas, sustratos y topografía. La tendencia es a aumentar su diversidad (Sánchez de Dios *et al.*, 2023). Por otro lado, nuestro territorio actuó como refugio durante la última glaciación, por lo que algunas especies pueden mantener aún una diversidad genética de estadios previos (López de Heredia *et al.*, 2007). El gradiente de disminución de las precipitaciones que existe desde el norte hasta el sur y sureste de la península ibérica lleva asociado un cambio en su variabilidad anual, siendo esta mayor cuanto menor es la precipitación anual (Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998). Esto hace que nuestros ecosistemas forestales hayan sido seleccionados en ambientes muy variables de precipitación total y de variabilidad anual. Cuanto mayor haya sido la variabilidad anual, mayor su resistencia a cambios en las precipitaciones, mientras que lo contrario es esperable donde la variabilidad haya sido menor. Por ello, es esperable que su resistencia frente a las sequías también sea variada, lo que constituye un factor diferencial de vulnerabilidad al cambio climático, toda vez que se predice un aumento de las sequías con el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (García-Valdecasas Ojeda *et al.*, 2021).

Otro factor de vulnerabilidad es el alto grado de fragmentación paisajística debido al uso tradicional durante siglos. Dado que la dispersión de semillas suele ser muy agregada y cercana a la fuente, esto puede dificultar la colonización de nuevas áreas por parte de las especies, especialmente en situaciones de abandono o tras perturbaciones que eliminan la población existente, como los incendios. No obstante, la superficie forestal española está aumentando, lo que contribuye a incrementar la conectividad (Estreguil *et al.*, 2013). Sin embargo, una mayor conectividad y carga de biomasa afectan positivamente a la propagación de los incendios (Viedma *et al.*, 2009), por lo que los efectos o beneficios de estos cambios paisajísticos dependen del tipo de bosque y las estrategias de colonización y regeneración de las especies tras una perturbación.

Un aspecto adicional de nuestros bosques es su alto grado de aislamiento, debido a que muchos de ellos están en zonas altas, discontinuas o que ocupan nichos climáticos o edáficos particulares. Esto hace que el tamaño de las poblaciones no sea grande, existiendo, además, especies que tienen una distribución restringida (p. ej. *Abies pinsapo*, *P. uncinata*). Por otra parte, muchos de nuestros bosques actuales son el resultado de repoblaciones, las cuales se hicieron en algunos casos con materiales forestales de reproducción con objetivos específicos, más allá del restablecimiento natural del bosque (Albertos & Martínez, 2000), lo que puede añadir un factor de vulnerabilidad ante la situación de un clima cambiante. Por ello, es importante valorar la vulnerabilidad de los bosques en función de su origen.

El suelo es un factor crítico de la productividad de los ecosistemas forestales. La alta rugosidad del terreno, las altas pendientes y las bajas precipitaciones en algunas zonas, particularmente en las mediterráneas, hacen que los suelos estén poco desarrollados, y que su contenido en carbono orgánico (COS) sea bajo y pobre en nutrientes (Fernández-Getino & Duarte, 2015), lo que los hace más vulnerables frente a los cambios del clima, particularmente de la precipitación.

Para la evaluación de los riesgos de DT/DS se ha utilizado un marco similar, si bien los factores que los determinan son humanos, además del clima y el cambio climático (Huang *et al.*, 2020). No obstante, el foco se establecerá en la cuantificación del peligro, particularmente el derivado del cambio climático, toda vez que la investigación hasta ahora se ha centrado en este aspecto más que en la cuantificación del riesgo en sentido estricto (Burrell *et al.*, 2020; del Barrio *et al.*, 2016).

3.2. Factores de riesgo subyacentes

Cambio de usos del suelo: Desde mediados del siglo pasado, España ha sufrido cambios en los usos del suelo derivados del abandono agrícola y de la reforestación. Como consecuencia de ello, la superficie cubierta por bosques o matorrales ha aumentado. De igual manera, la fragmentación del terreno ha disminuido, y la conectividad ha aumentado (Estreguil *et al.*, 2013). Estos factores son importantes a efectos de la propagación de plagas e incendios.

Concentración atmosférica de CO_2: El CO_2 atmosférico es absorbido por las plantas en el proceso de la fotosíntesis para elaborar los compuestos orgánicos de los organismos fotosintéticos. La concentración actual es de unas 429 ppm, y supera la concentración preindustrial en un 54 %[6]. El aumento de este gas atmosférico incrementa la productividad primaria bruta, así como la eficiencia del uso del agua, lo que puede permitir un mayor crecimiento vegetal con la misma cantidad de agua disponible (Cernusak *et al.*, 2019). Esto es importante en ambientes con baja disponibilidad de agua, como los mediterráneos, y en un contexto de aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones debido al cambio climático.

Enfermedades y plagas: Las especies forestales están afectadas por diversas plagas y enfermedades, lo que causa defoliación, reducción del crecimiento e incluso la muerte de los árboles afectados, y son una de las principales causas del decaimiento forestal, por sí mismas o en interacción con otros factores abióticos (Linares *et al.*, 2014; Navarro-Cerrillo, 2025). En general, el estado

[6] https://keelingcurve.ucsd.edu/ Volcado el 4 de julio de 2025.

de defoliación de los bosques españoles es del 25 %, y su tendencia es creciente, siendo similar entre coníferas y latifolios (Michel *et al.*, 2024). La defoliación es mayor cuando las condiciones climáticas son menos favorables para la planta (Hernández-Lambraño *et al.*, 2024).

Especies exóticas invasoras: Las invasiones biológicas son uno de los principales motores de la pérdida de biodiversidad y del cambio ambiental, con un impacto significativo en el bienestar humano y los servicios ecosistémicos (Pyšek *et al.*, 2020; Roy *et al.*, 2024). Incluso pueden llegar a alterar el régimen de incendios (Arianoutsou y Vilà, 2012). El número de especies exóticas invasoras (EEI) ha aumentado rápidamente en todo el mundo en las últimas décadas (Roy *et al.*, 2023) y se espera que su número e impacto sigan aumentando (Seebens *et al.*, 2021). Su presencia puede suponer la aparición y propagación de patógenos que pueden afectar a diferentes elementos del patrimonio natural (Pyšek *et al.*, 2020). En España, los costes asociados a distintas campañas para revertir o mitigar las pérdidas y daños que causan estas especies ascendieron a 230,3 M€ desde 1997 hasta 2021, pasando de 3,5 M€/año antes del año 2000 a 13,2 M€/año en los últimos años (Angulo *et al.*, 2021).

Incendios forestales: Durante la última década, se produjeron en España un promedio de 13.111 incendios al año, que afectaron a 101.000 ha de media, de las cuales un 31,8 % fueron arboladas y el resto desarboladas. En general, el número de incendios y la superficie quemada anualmente han disminuido, probablemente debido al aumento de la capacidad de lucha contra el fuego. No obstante, desde 2020 se ha producido un cambio de tendencia, debido a los extraordinarios episodios extremos de 2022 y 2025. En este último año, el área quemada se ha aproximado por primera vez en tres décadas a las 400.000 ha (ver **Cuadro 1**). Del total quemado, la afección a superficies arboladas está disminuyendo, mientras que las de no arboladas está aumentando. Por otro lado, las condiciones de peligro, medidas por el índice FWI del sistema canadiense, han aumentado debido al cambio climático. Igualmente, la peligrosidad del territorio ha aumentado debido, entre otros, al aumento de la superficie forestal (Urbieta *et al.*, 2019).

La **Figura 1** representa de forma esquemática todos los componentes previamente descritos: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector a ellos, las diferentes vulnerabilidades y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco común establecido en la *Guía Técnica para una Evaluación Integral de Riesgos y Planificación en el Contexto de Cambio Climático*, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de los distintos componentes y sitúa en el centro del marco los riesgos relevantes que caracterizan el sector.

Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental

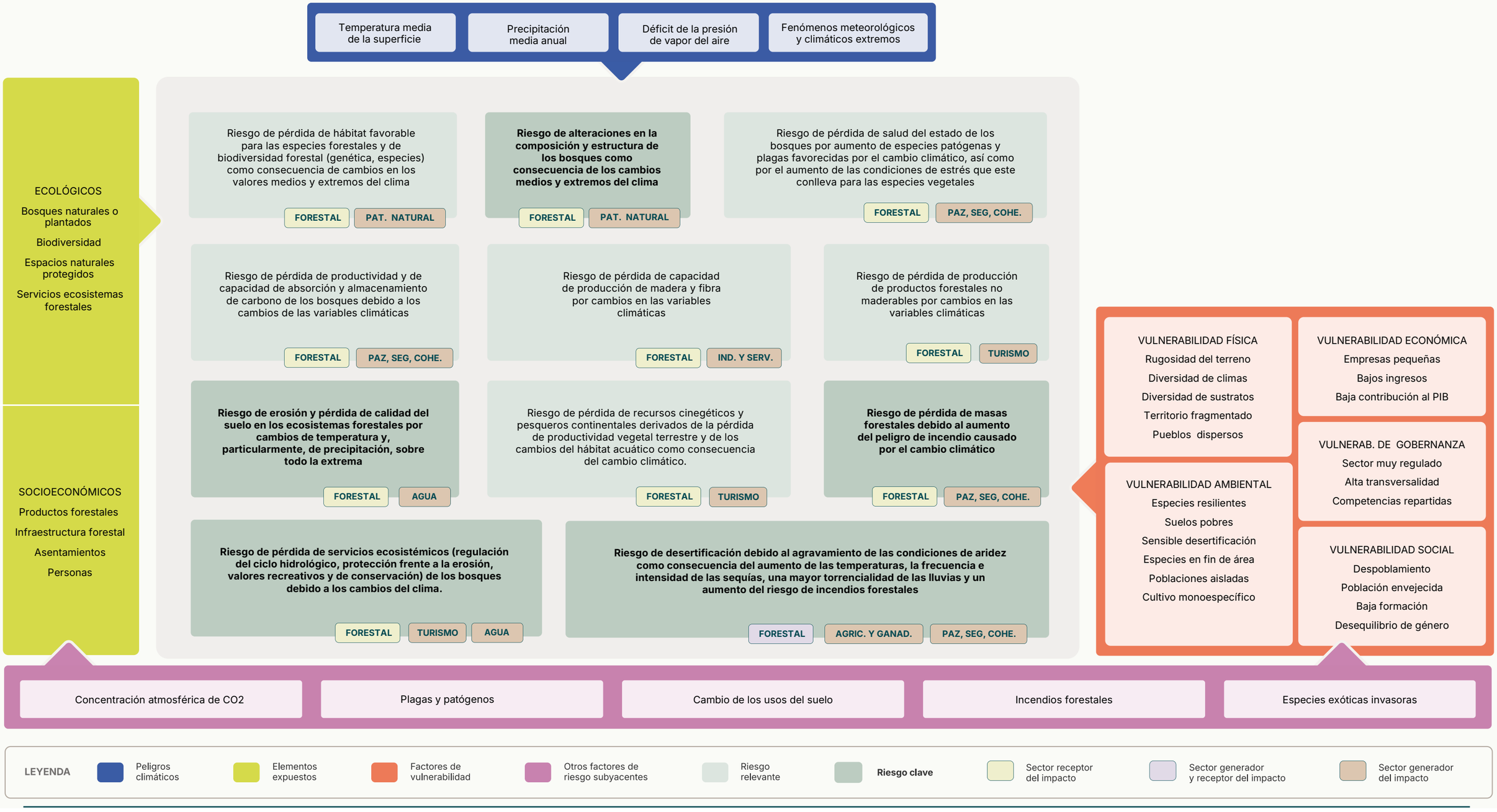


Figura 1. Modelo conceptual de los riesgos del sector forestal, la desertificación y la caza y pesca continental.

Sigue en la página 506

4. Descripción de los riesgos: Riesgos relevantes

El análisis de la bibliografía ha permitido identificar los riesgos relevantes del sector forestal. Asimismo, la aplicación posterior de un análisis multicriterio común a todos los sectores ha facilitado la identificación de aquellos que resultaron clave. En total se han identificado 11 riesgos relevantes (RR) (Tabla 1), de los cuales 6 se consideran riesgos clave (RC) (ver descripción detallada más adelante). A continuación, se ofrece una descripción abreviada de los riesgos relevantes (RR) que no se consideran clave, para luego hacer un análisis más extenso de estos últimos en la siguiente sección, según el análisis multicriterio aplicado.

Tabla 1. Listado de riesgos relevantes (RR) y riesgos clave (RC) del sector forestal, la desertificación y la caza y pesca continental.

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR4.1	Estructura	Riesgo de pérdida de hábitat favorable para las especies forestales y de biodiversidad forestal (genética, especies) como consecuencia de cambios en los valores medios y extremos del clima.	
RR4.2	Estructura	Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima.	RC4.1
RR4.3	Estructura	Riesgo de pérdida de salud del estado de los bosques por aumento de especies patógenas y plagas favorecidas por el cambio climático, así como por el aumento de las condiciones de estrés que este conlleva para las especies vegetales.	
RR4.4	Estructura	Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema.	RC4.2
RR4.5	Función	Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas.	RC4.3

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR4.6	Función	Riesgo de pérdida de capacidad de producción de madera y fibra por cambios en las variables climáticas.	
RR4.7	Función	Riesgo de pérdida de producción de productos forestales no maderables por cambios en las variables climáticas.	
RR4.8	Función	Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.	RC4.4
RR4.9	Estructura	Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.	RC4.5
RR4.10	Función	Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos (regulación del ciclo hidrológico, protección frente a la erosión, valores recreativos y de conservación) de los bosques debido a los cambios del clima.	RC4.6
RR4.11	Función	Riesgo de pérdida de recursos cinegéticos y pesqueros continentales derivados de la pérdida de productividad vegetal terrestre y de los cambios del hábitat acuático como consecuencia del cambio climático.	

4.1. RR4.1 Riesgo de pérdida de hábitat favorable para las especies forestales y de biodiversidad forestal (genética, especies) como consecuencia de cambios en los valores medios y extremos del clima.

El clima es uno de los principales determinantes de la distribución de las especies, por lo que se usa como base para modelizar su distribución (Pearson & Dawson, 2003). Los bosques españoles son ricos en especies, ya que tienen una componente mediterránea principal, junto a otras de naturaleza atlántica y alpina, en zonas en final de área, más otra macaronésica. Conforme las especies se alejan de su óptimo climático, disminuye su productividad, su capacidad reproductiva y sus tasas de reclutamiento, al tiempo que aumenta su sensibilidad a la falta de agua y su mortalidad (Benavides *et al.*, 2013; Hacket-Pain *et al.*, 2016; Rubio-Cuadrado *et al.*, 2021). El estrés climático, además, puede disminuir la capacidad de respuesta a los parásitos y a la competencia interespecífica (Blanco-Cano *et al.*, 2022).

En las últimas décadas se han observado cambios en la distribución de algunas especies que muestran ascensos altitudinales compatibles con el calentamiento global, aunque no pueda descartarse un efecto debido a los cambios de uso del suelo (Ameztegui *et al.*, 2016; Peñuelas *et al.*, 2007). No obstante, cambios similares se han dado aun cuando el uso del suelo no ha sido importante, y reflejan la mediterraneización de las zonas de influencia atlántica, conforme al calentamiento observado. En general, los efectos son particularmente visibles en los límites meridionales y a baja altitud de la distribución de las especies (Hampe & Petit, 2005). Así, las especies mediterráneas, adaptadas a condiciones más cálidas y secas (p. ej. *Q. ilex*), tienden a expandirse, mientras que aquellas propias de ambientes más húmedos y fríos muestran una tendencia al retroceso. (p. ej. *Fagus sylvatica*, *P. sylvestris*) (Hernández *et al.*, 2017).

La vulnerabilidad principal de las especies forestales está relacionada con su alta diversidad (González-García *et al.*, 2024; Ruiz-Labourdette *et al.*, 2011). Asimismo, aumenta en las zonas de transición, en los refugios climáticos y en las distribuciones fragmentadas. Estas situaciones son particularmente importantes en zonas de montaña en los límites meridionales de la distribución de las especies (Blanco-Cano *et al.*, 2022). (Del Barrio *et al.*, 2021)

El cambio climático modificará el nicho climático de las especies forestales españolas, que tenderán a desplazarse hacia el norte y en altitud, tendencia que es mayor en escenarios de altas emisiones de gases de efecto invernadero. Se calcula una contracción del área de distribución de las coníferas de alta montaña (p. ej. *P. sylvestris*, *P. uncinata*, *A. alba*, *A. pinsapo*), de las especies atlánticas (*Q. petraea*, *Q. robur*, *F. sylvatica*, *Fraxinus excelsior*) y de las propias de ambientes mediterráneos más demandantes de humedad (*Q. pyrenaica*, *Q. suber*, *Q. canariensis*) y una expansión de las especies mediterráneas más tolerantes a la sequía (*Q. ilex*, *P. halepensis*) (Benito Garzón *et al.*, 2008; del Río *et al.*, 2021; Dyderski *et al.*, 2018; López-Tirado & Hidalgo, 2018; Ruiz-Labourdette *et al.*, 2012; Vessella *et al.*, 2017). No obstante, dado el retraso que los ecosistemas muestran para transitar entre estados en respuesta a variaciones climáticas rápidas, es esperable que los desajustes con el clima real sean la norma en las próximas décadas (Fastovich *et al.*, 2025).

El área idónea para el cultivo del *Eucalyptus* aumentará (López-Sánchez *et al.*, 2021). En las Islas Canarias, *P. canariensis* se está expandiendo en las zonas altas y lo seguirá haciendo en altitud (Bello-Rodríguez *et al.*, 2019; Del Arco & Garzón-Machado, 2012). La laurisilva está sufriendo decaimiento en algunas islas (Fernandez-López *et al.*, 2022), y se prevé que su área se reduzca (Del Arco & Garzón-Machado, 2012). No obstante, se anticipa un posible descenso altitudinal de las zonas de nubes (Harter *et al.*, 2015).

Aunque las técnicas de modelización están sujetas a alta incertidumbre (Santini *et al.*, 2021), asumiendo una capacidad limitada de dispersión de las especies, todo indica que sufrirán estrés

climático en amplias zonas de su distribución. Muchas especies tienen diversidad genética y plasticidad fenotípica que les permite adaptarse a las nuevas condiciones (Dorado-Liñán *et al.*, 2019; Leites & Benito Garzón, 2023). Existen planes y acciones reductoras del riesgo, como las contempladas en el Plan Forestal Español 2022-2032 (MITECO, 2023b) o en la Estrategia Forestal Española 2050 (MITECO, 2023a). Aunque una gestión forestal adecuada puede facilitar la adaptación, esta es difícil de implementar en toda la superficie en riesgo.

4.2. RR4.3 Riesgo de pérdida de salud del estado de los bosques por aumento de especies patógenas y plagas favorecidas por el cambio climático, así como por el aumento de las condiciones de estrés que este conlleva para las especies vegetales.

En España está contemplada la gestión integrada de 76 enfermedades o especies plaga causantes del decaimiento de las masas forestales de quercíneas, coníferas, frondosas y eucaliptos (MAPA, 2016, 2017, 2018, 2021). De estas, algunas de las más relevantes debido a su impacto económico y ambiental son la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), diferentes escolítidos barrenadores de coníferas de los géneros *Scolytus, Tomicus* e *Ips*, así como el oomiceto (*Phytophthora cinnamomi*) que constituye uno de los principales factores desencadenantes de la "seca" en los encinares y alcornocales en la península ibérica.

Los niveles de defoliación aumentan significativamente en lugares con una alta intensidad de plagas (Hernández-Lambraño *et al.*, 2024) y pueden verse favorecidos por el cambio climático debido a un debilitamiento fisiológico de las especies vegetales. El estado general del arbolado en España en los últimos 30 años muestra una progresiva disminución del porcentaje de árboles sanos (MITECO, 2023b). El cambio climático, junto con el abandono de muchas zonas forestales, ha evidenciado vulnerabilidades que amenazan la conservación de los bosques, al debilitar los árboles y hacerlos más susceptibles a plagas y enfermedades (Allen *et al.*, 2010; MITECO, 2023a; Natalini *et al.*, 2016; Trumbore *et al.*, 2015). La exposición prolongada a periodos de sequía puede reducir el vigor de los árboles y, por tanto, su resistencia, aumentando su susceptibilidad al ataque de parásitos y patógenos (FAO & Plan Bleau, 2018), especialmente en paisajes fuertemente antrópicos (Azcárate *et al.*, 2023). En las masas vulnerables, la seca afecta con mayor probabilidad a los árboles debilitados por la sequía y en zonas con condiciones climáticas adversas (A. López-Sánchez *et al.*, 2021), aunque la relación entre el aumento

de la temperatura y los niveles de afectación por hongos no es siempre lineal (Serra-Varela *et al.*, 2017). El estrés hídrico moderado o intermitente favorece el ataque de plagas de defoliadores, mientras que el prolongado favorece principalmente las plagas de insectos xilófagos (Rouault *et al.*, 2006) (p. ej. la mortalidad de las larvas del taladrador del eucaliptus [*Phoracantha semipunctata*] es menor y su peso mayor cuando crecen en árboles sometidos a estrés hídrico prolongado) (Caldeira *et al.*, 2002). El aumento de las temperaturas puede acelerar el desarrollo y la reproducción de diferentes organismos, aumentando directamente la presión de infestación (Bale *et al.*, 2002).

Se estima que para 2100, algunas especies con alto valor económico en la península ibérica, como *P. sylvestris* o *Q. robur*, estarán en el límite o fuera de su nicho climático actual (Schueler *et al.*, 2014). Para 2050, *P. pinaster* verá reducida su idoneidad ambiental por toda su distribución ibérica, mientras que su principal plaga, el chancro resinoso, producido por el hongo *Fusarium circinatum*, limitará su incidencia a la zona noroccidental de la península (Serra-Varela *et al.*, 2017). Por otro lado, el calor y la reducción de la humedad pueden alterar la tasa reproductiva de ciertos insectos, incrementando una generación anual extra (Jönsson *et al.*, 2007) o favoreciendo la supervivencia en los estados larvarios durante el invierno (Battisti *et al.*, 2005). Las modificaciones en las condiciones abióticas favorecen la expansión altitudinal y latitudinal del rango de distribución de especies plaga. Por ejemplo, en la procesionaria del pino, el aumento de las temperaturas nocturnas incrementa la actividad de vuelo de las hembras, lo que les permite dispersarse a mayores distancias (Battisti, 2006; Robinet *et al.*, 2007).

Dado que el umbral de mortalidad por sequía y estrés térmico de las especies arbóreas está fuertemente ligado al ámbito regional y local (FAO & Plan Bleau, 2018), las acciones de adaptación al cambio climático deben basarse en el manejo sostenible y adaptativo de las masas forestales (Astigarraga *et al.*, 2020).

4.3. RR4.6 Riesgo de pérdida de capacidad de producción de madera y fibra por cambios en las variables climáticas.

La productividad forestal está mediada en gran parte por la temperatura y las precipitaciones (Boisvenue & Running, 2006). Por ello, el aumento de las condiciones de aridez previsto con el cambio climático para España (Masson-Delmotte *et al.*, 2021), así como la ocurrencia cada vez más frecuente de perturbaciones extremas derivadas de dicho cambio (p. ej. sequías prolongadas, olas

de calor, grandes incendios forestales, ataque de plagas y enfermedades, etc.) podría afectar de manera negativa a los aprovechamientos forestales, entre otros servicios ecosistémicos (Balzan *et al.*, 2020; Morán-Ordóñez *et al.*, 2021).

Actualmente, la superficie forestal española alberga un total de 1.175 Mm^3 de madera con corteza, con un crecimiento anual de 47 Mm^3 (MITECO, 2024a). Todo ello asciende a un valor económico de 1.036 M€ (MITECO, 2020), lo que supone aproximadamente un 0,1 % del PIB, por lo que se espera que el impacto económico de este riesgo sea limitado. Sin embargo, se estima que decenas de miles de personas empleadas en el sector forestal podrían verse afectadas, al igual que los territorios donde se concentra la producción de madera, esto es, Galicia (53 % de la producción total), seguida de Castilla y León, País Vasco y Asturias (28 % en conjunto) (MITECO, 2024a).

El volumen de cortas ha tenido una tendencia al alza durante los últimos 20 años (MITECO, 2024a), debido a un aumento de la productividad en los bosques durante el siglo pasado y comienzos de este a consecuencia del efecto fertilizador del aumento del CO_2 atmosférico, así como del alargamiento de la estación de crecimiento que provocan unas temperaturas más altas (Díaz-Martínez *et al.*, 2023; Sabaté *et al.*, 2015). Las existencias maderables también han aumentado debido a las repoblaciones forestales (más de 430.000 ha entre 2000 y 2020), la forestación de tierras agrarias o la regeneración natural de zonas abandonadas debido al despoblamiento rural (MITECO, 2021).

Sin embargo, evidencias y fuentes recientes (MITECO, 2024b) indican que la productividad de los bosques podría estar disminuyendo como consecuencia de las nuevas condiciones climáticas (Astigarraga *et al.*, 2020; Tijerín-Triviño *et al.*, 2025). En ese sentido, las especies que más se cortan en España son *Eucalyptus* sp. pl. (37 % del volumen total de cortas), *P. radiata* (23 %) y *P. pinaster* (17 %) (MITECO, 2024a), por lo que la evolución de este riesgo en el futuro dependerá en gran medida de la respuesta de estas especies frente al cambio climático.

Se estima que el territorio climáticamente apto para *E. globulus* podría aumentar significativamente en el interior de Galicia y reducirse ligeramente en el resto del norte de España para el periodo 2050-2070 (López-Sánchez *et al.*, 2021), lo que podría repercutir en la productividad de la especie en dichas zonas. La idoneidad del hábitat de *P. radiata*, por el contrario, podría verse reducida de forma considerable, con descensos respecto a la superficie actual de entre el 50 % y el 60 % (González-Díaz *et al.*, 2020), lo que implicaría una reducción de su productividad. Por su parte, *P. pinaster* también podría ver disminuida su productividad hasta 2100 bajo escenarios de cambio climático futuros medios y altos (B2 y A2) (González-Muñoz *et al.*, 2014).

Con todo, no se espera que el cambio climático pueda tener un efecto directo importante sobre la capacidad de producción de madera y fibra hasta la segunda mitad del siglo, cuando las mayores condiciones de aridez ya no podrán ser compensadas por el efecto fertilizador del aumento del CO_2 atmosférico y el aumento de temperaturas (Balzan *et al.*, 2020; Sabaté *et al.*, 2015). En cualquier caso, existen evidencias de que la sustitución de las técnicas convencionales de manejo forestal, enfocadas únicamente a la producción, por otras de manejo sostenible y adaptativo frente al cambio climático, podrían paliar parcialmente la pérdida de productividad de estos bosques en el futuro (p. ej. Astigarraga *et al.*, 2020; Bravo *et al.*, 2017; Keenan, 2015; Ruiz-Peinado *et al.*, 2017), como así lo demuestran las proyecciones de la productividad a futuro que incluyen el manejo forestal en sus modelos (Pilli *et al.*, 2022). Las directrices del Plan Forestal Español 2022-2032 (MITECO, 2023b) o la Estrategia Forestal Española 2050 (MITECO, 2021) contemplan algunos de estos cambios.

4.4. RR4.7 Riesgo de pérdida de producción de productos forestales no maderables por cambios en las variables climáticas

Los bosques proveen productos no maderables, cuya explotación está ampliamente distribuida por el territorio, destacando: el corcho de *Q. suber* (Andalucía, Extremadura y Cataluña), la resina de *P. pinaster*, el piñón de *P. pinea* (Castilla y León), las setas y la trufa (Aragón, Castilla y León y Cataluña) y la castaña de *Castanea sativa* (Galicia) (MITECO, 2024a).

La producción de algunos de estos recursos es muy sensible a las variaciones climáticas, particularmente a la sequía, como el corcho (Camarero *et al.*, 2024; Pérez-Girón *et al.*, 2022), la resina (Rodríguez-García *et al.*, 2015), el piñón (Calama *et al.*, 2020), los hongos (Alday *et al.*, 2017; Morera *et al.*, 2024) o la castaña (Pereira *et al.*, 2011). Las interacciones con otras perturbaciones pueden, igualmente, afectar al riesgo. Por ejemplo, el alcornoque es sensible al fuego o a las plagas tras la extracción del corcho (Catry *et al.*, 2012; Tiberi *et al.*, 2016); la producción de setas silvestres también es sensible al fuego (Turiel-Santos *et al.*, 2024); la producción de piñones a las plagas (Calama *et al.*, 2020); la de castaña a patógenos invasores (Romay-Río *et al.*, 2024).

El cambio climático disminuye la superficie idónea de *Q. suber*, con pérdidas sustantivas en el sur (López-Tirado & Hidalgo, 2018), amenazando parte de las forestaciones llevadas a cabo a finales del siglo pasado (Duque-Lazo *et al.*, 2018), y aumentando el período de rotación del

descortezado por la mayor sequía (Leite *et al.*, 2019). Las propiedades del corcho, sin embargo, no se verán amenazadas (Leite *et al.*, 2020).

Las altas temperaturas y las bajas precipitaciones disparan la mortalidad de los árboles de *P. pinaster* resinados, lo que aumenta bajo condiciones de sequía. La alta densidad del rodal y la madurez de los árboles predisponen al decaimiento. Además, con el cambio climático, *P. pinaster* puede verse desplazado por *P. pinea* en los bosques mixtos; los veranos con sequía prolongada reducirán la producción de resina (Calama *et al.*, 2023; Rodríguez-García *et al.*, 2015). El cambio climático supondrá un desplazamiento del área de distribución potencial de *P. pinea* hacia el norte, desapareciendo de las zonas meridionales (Akyol *et al.*, 2020). Se espera que, cuanto mayor sea el calentamiento y la correspondiente frecuencia de sequías, aumente la mortalidad de los árboles y disminuya la producción de piñas (Pardos *et al.*, 2015) y piñones (Mutke *et al.*, 2005).

El cambio climático desplazará la idoneidad del nicho climático de *Castanea sativa* hacia el norte (disminuyendo de las zonas del sur y centro peninsulares) y en altitud (Álvarez-Álvarez *et al.*, 2025). El riesgo de pérdida de hábitat y función de los castañares aumentará cuanto mayor sean las emisiones de gases de efecto invernadero y el consiguiente calentamiento global (Pérez-Girón *et al.*, 2022). El aumento del estrés hídrico que este conlleva disminuye la producción y calidad de las castañas (Fernandes *et al.*, 2022).

El cambio climático, especialmente bajo escenarios altos en emisiones en los que se intensifican la aridez y las altas temperaturas, producirá una disminución de la producción de trufa (Thomas & Büntgen, 2019). Igualmente, estas condiciones producirán una disminución de setas silvestres, un cambio en la composición de la comunidad fúngica y un desplazamiento en altitud de algunas de sus especies (Herrero *et al.*, 2019; Morera *et al.*, 2024), si bien algunos trabajos no proyectan cambios en la producción (Karavani *et al.*, 2018).

La gestión forestal es importante para la adaptación, si bien es específica de cada producto, ya que la producción puede aumentar o no, dependiendo del objetivo (Herrero *et al.*, 2019; Martins *et al.*, 2011). Por otra parte, la gestión adaptativa puede reducir los impactos negativos del cambio climático sobre la producción de corcho (Palma *et al.*, 2015). La adaptación en *P. pinea* para la producción de piñones requerirá disminuir la competencia intraespecífica (Moreno-Fernández *et al.*, 2013), aumentar la fertilización y, donde sea posible, la irrigación (Freire *et al.*, 2019). Igualmente, los aclareos pueden incrementar la producción de resina en *P. pinaster* (Rodríguez-García *et al.*, 2015). Aunque los impactos de este riesgo no son de gran magnitud, resultan relevantes para las áreas rurales dependientes de estos recursos (Sánchez González *et al.*, 2020).

4.5. RR4.11. Riesgo de pérdida de recursos cinegéticos y pesqueros continentales derivados de la pérdida de productividad vegetal terrestre y de los cambios del hábitat acuático como consecuencia del cambio climático

En España se observa una tendencia decreciente en el número de licencias de caza en los últimos 10 años; sin embargo, el número de animales abatidos ha aumentado, así como el peso medio de estos (MITECO, 2024a). Respecto a la pesca continental, el número de licencias de pesca muestra una tendencia decreciente desde los últimos 20 años, pero no se dispone de información precisa sobre cifras de capturas de especies piscícolas (MITECO, 2024a).

Las modificaciones ocasionadas por el cambio climático en la fenología, distribución y abundancia de las especies cinegéticas (Both & Visser, 2001; Cotton, 2003; Vähätalo *et al.*, 2004) y piscícolas (Crozier & Hutchings, 2014) se ven condicionadas por el efecto de la presión humana sobre los ecosistemas por factores sociales, económicos y culturales que evolucionan a lo largo del tiempo (Gaspar *et al.*, 2025; Davoli & Svenning, 2024).

El incremento de la temperatura media invernal debido al cambio climático tiene un efecto en los patrones migratorios, especialmente el de las aves acuáticas objeto de caza, como son el ánade rabudo (*Anas acuta*) y la cuchara común (*Spatula clypeata)*, para las que se ha observado una llegada más temprana a sus zonas de cría (Vähätalo *et al.*, 2004). Sin embargo, el impacto de la temperatura no siempre es directo, ya que puede desencadenar efectos en cascada. A través de cambios en la producción primaria y en la fenología de los insectos, puede producirse una desincronización entre la reproducción de las especies y la disponibilidad de alimento. Es el caso de la tórtola (*Streptopelia turtur*), cuya época reproductiva se acorta y el inicio de la migración se adelanta, debido a una menor disponibilidad de semillas (Browne & Aebischer, 2003, 2004). Esta asincronía ocurre de forma diferenciada entre las especies migratorias (Both & Visser, 2001), pero también en las residentes (Stenseth & Mysterud, 2002).

La pérdida de recursos cinegéticos debida al cambio climático está principalmente asociada a la disminución de la productividad vegetal terrestre y los recursos limitantes, como el agua, como consecuencia del aumento de las temperaturas y los cambios en la precipitación (European Environmental Agency, 2024; Feyen , 2020; MITECO, 2024a; Sanz, 2020). Se calcula que el efecto beneficioso inicial del aumento de CO_2 atmosférico sobre la productividad primaria y el crecimiento vegetal se verá limitado debido a la falta de nitrógeno y fósforo disponibles en el suelo (Wang et al., 2020), lo que tendrá consecuencias en el estado de las poblaciones cinegéticas (Davoli &

Svenning, 2024). Por su parte, la pérdida de recursos pesqueros continentales como consecuencia del cambio climático está asociada a la alteración de los hábitats acuáticos, debido al aumento de las temperaturas, la alteración del caudal de los ríos y a la entrada de especies exóticas invasoras (Ayllón et al., 2021; Cano-Barbacil et al., 2024; Santiago et al., 2020).

Para algunas poblaciones cinegéticas, como las ibéricas de ciervo (*Cervus elaphus*), se espera un aumento de los períodos de estrés, lo que aumentará su dependencia de la gestión de la población (agua, alimento, traslados), con sus consiguientes riesgos genéticos (Fernandez-de-Mera *et al.*, 2009; Gort-Esteve *et al.*, 2024) y sanitarios (Vicente *et al.*, 2007). El conejo (*Oryctolagus cuniculus*) verá reducida la duración y aumentada la variabilidad de sus periodos reproductivos en la península ibérica como consecuencia del proceso de desertificación de los ecosistemas mediterráneos, lo que tendrá un impacto negativo sobre sus poblaciones (Tablado & Revilla, 2012). El aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación afectan a la disponibilidad de hábitats adecuados para las aves acuáticas. Como consecuencia, se prevé una reducción del área de cría de estas especies, así como un desplazamiento latitudinal hacia el norte (Guillemain *et al.*, 2013; Soultan *et al.*, 2022).

Con respecto a la pesca, los escenarios de cambio climático prevén un incremento de la temperatura del aire que, a su vez, provocará un aumento en la temperatura del agua (Anthesis Lavola, 2021). Este cambio térmico puede comprometer de forma particular la pesca de especies de agua fría, como la trucha común (*Salmo trutta*), en los ríos mediterráneos (Ayllón *et al.*, 2021), debido al creciente riesgo de pérdida de hábitats adecuados, principalmente en especies que se encuentran en el límite de su rango latitudinal o altitudinal de su distribución (Cano-Barbacil *et al.*, 2024; Santiago *et al.*, 2020). El aumento de la temperatura media del agua y la construcción de represas favorecerá la presencia de especies exóticas como el siluro (*Silurus glanis*), comprometiendo aún más la viabilidad de la biodiversidad de peces de agua dulce, especialmente las especies endémicas ibéricas con alto valor piscícola, como los barbos autóctonos (*Luciobarbus* spp.) (Cano-Barbacil *et al.*, 2022; Encina *et al.*, 2024).

Los efectos negativos observados y previsibles pueden revertirse parcialmente mediante acciones específicas (p. ej. repoblaciones, sueltas), que requieren recursos significativos, tanto más cuanto mayor sea el nivel de afectación de dichas poblaciones. En la actualidad, se apuesta por una gestión cinegética adaptativa ante las condiciones ambientales cambiantes, basada en el monitoreo periódico de la presión cinegética y pesquera sobre las poblaciones animales y en la evaluación periódica de las medidas adoptadas (MITECO, 2022a, 2024a). Sin embargo, las repoblaciones de especies piscícolas podrían no ser efectivas, ya que las altas temperaturas y la disminución de los caudales reducen significativamente la capacidad de carga de los ríos, especialmente para los peces adultos. Por tanto, esta medida de gestión solo resulta útil cuando la población de adultos se encuentra por debajo de dicha capacidad (Arlinghaus, 2016).

5. Riesgos clave

Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que ya pueden manifestarse en el presente y cuya severidad[7] puede aumentar con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición o en la vulnerabilidad (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector forestal, los once riesgos relevantes, previamente descritos, se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts & Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector forestal, la desertificación, la caza y pesca continental ha resultado en los siguientes 6 riesgos clave (RC):

- RR4.2 Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima (RC4.1).
- RR4.4 Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema (RC4.2).
- RR4.5 Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas (RC4.3).
- RR4.8 Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales (RC4.4).
- RR4.9 Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático (RC4.5).
- RR4.10 Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos (regulación del ciclo hidrológico, protección frente a la erosión, valores recreativos y de conservación de los bosques) debido a los cambios del clima (RC4.6).

[7] Aunque frecuentemente se usa severidad, del inglés “severity”, el uso de gravedad sería también correcto.

El RR4.4 se desarrollará parcialmente como RC4.2 y se centrará en el análisis de los ecosistemas forestales, usando el contenido de carbono orgánico del suelo como principal descriptor de la calidad. Por su parte, el análisis de la erosión también se aborda en el RR4.8 (RC4.4) "Riesgo de aumento de desertificación...", aunque con un alcance más amplio ya que aplica a todo el territorio, no solo al forestal.

A continuación, se describe en profundidad cada uno de los riesgos clave identificados.

5.1 RC4.1 Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima

Introducción al riesgo

Este riesgo aborda los efectos derivados del cambio climático sobre la estructura y composición de las especies de los bosques españoles. La temperatura y la precipitación, además de otras variables climáticas, determinan la estructura y composición de los bosques y las perturbaciones a las que están expuestos, e interactúan con las acciones antrópicas. El cambio climático puede alterar el nicho climático de las especies, cambiando así las comunidades que forman, así como su demografía, abundancia y estructura espacial vertical u horizontal (Astigarraga *et al.*, 2020; Camarero *et al.*, 2025). El motivo para considerarlo como riesgo clave se debe principalmente a la amplia extensión de territorio que podría verse afectada. Cualquier cambio en la composición y estructura de los bosques implica una escasa capacidad de recuperación de esta composición una vez superados ciertos umbrales.

Los bosques españoles actuales son el resultado de miles de años de acción antrópica sobre ellos mediante el pastoreo, el uso del fuego, la poda y la tala, entre otras muchas acciones (Valbuena-Carabaña *et al.*, 2010). Como consecuencia de ello, su superficie alcanzó el mínimo después de la Guerra Civil, aumentando desde entonces hasta nuestros días de forma continua debido a la reforestación, la forestación y el abandono. Desde 1940 hasta 2013 se plantaron en España 5,15 Mha, para lo que, hasta 1985, se usaron en su gran mayoría especies de *Pinus* (por orden de importancia: *P. pinaster*, *P. sylvestris*, *P. halepensis*, *P. nigra*, *P. pinea* y *P. radiata*) y *Eucalyptus*. Posteriormente se añadieron otras especies, particularmente *Quercus* (Vadell Guiral *et al.*, 2019). En general, las plantaciones de pinos se han llevado a cabo en sitios cuyo clima y suelo no siempre eran iguales a los de los pinares naturales que restauraban. Igualmente, las plantaciones difieren en su estructura y composición de un bosque natural, y suelen tener una mayor densidad y homoge-

neidad de tamaños, al tiempo que una menor riqueza de especies leñosas y menor reclutamiento que estos. Estas diferencias varían entre especies, siendo más acusadas en los pinos de montaña que en los mediterráneos (Ruiz-Benito *et al.*, 2012).

Como consecuencia de ello, nos encontramos con bosques jóvenes, muchos de ellos de origen antrópico, en diferente estado de sucesión tras su abandono o plantación. La densidad media de pies menores es de 637 ind. ha^{-1} y la de pies mayores de 438 ind. ha^{-1}, con una ratio de solo 1,45 pies menores/pies mayores. Además, la distribución de pies menores es muy desigual entre especies, pues solo *Q. ilex* y *Q. pyrenaica,* que se regeneran por rebrote de raíz, comprenden más del 50 % de ellos[8]. Su estructura está desequilibrada hacia los árboles de menor fuste, ya que los menores (clase diamétrica de 10 cm) suponen el 66,6 % y los más grandes (clases ≥40 cm) el 1,6 % (MITECO, 2024a).

La abundancia del arbolado (expresada en metros cúbicos de madera por hectárea, como variable subrogada de la biomasa) varía geográficamente, en parte, según el eje norte-sur. Así, esta es muy alta y mayor en la región atlántica que en las otras regiones (alpina, mediterránea y macaronésica). Las provincias con representación alpina presentan niveles muy variables, desde muy altos (Navarra) a muy bajos (Lérida). En la región mediterránea, las provincias de la vertiente mediterránea presentan valores altos en Cataluña y medios en el resto, hasta Cádiz, incluyendo las Islas Baleares. El mismo eje en el lado occidental presenta valores medios en León, bajos desde Zamora a Badajoz y muy bajos en Huelva (MITECO, 2024a).

En los bosques de pinos (*P. halepensis, P. pinea, P. pinaster, P. nigra y P. sylvestris*), el tipo de bosque (natural o plantado) es un factor significativo de su reclutamiento y del de *Quercus*, de manera que son mayores en los bosques naturales que en los plantados. Además, un conjunto de variables climáticas (principalmente la precipitación), bióticas (densidad de pies o área basimétrica) y antrópicas (incendios forestales, distancia al bosque más cercano de *Quercus* para el establecimiento de esta especie) determina el reclutamiento. En general, los mayores valores de reclutamiento se producen a valores intermedios de los distintos factores, aunque varían según el tipo de bosque. En el caso del fuego, la relación es lineal e inversa, de manera que el reclutamiento disminuye con el aumento de la frecuencia de incendios (Ruiz-Benito *et al.*, 2012).

Los bosques españoles tienen una riqueza media de 4 especies de árboles y 5 especies de arbustos (Pescador *et al.*, 2022). El 83 % de la superficie cuenta con más de dos especies de árboles o arbustos, y el 95 % con más de cinco[9]. La mayor riqueza arbórea se da en las zonas más

[8] Datos del tercer inventario forestal nacional (IFN3, completado en 2008). https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/tablas_resumen_ifn3.html.

[9] MAGRAMA://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/c6_riquezaar-

húmedas, en las provincias atlánticas, particularmente en el País Vasco, además de en Cataluña, el sistema Ibérico sur, las sierras de Cazorla y Segura y las sierras de Cádiz. Por el contrario, la riqueza arbustiva es mayor en las zonas con menor densidad arbórea y clima mediterráneo seco[2]. Por tipos de hábitats, las formaciones atlánticas y pirenaicas de *Tilio-Acerion* (hábitat de interés comunitario [HIC] 9180) y los robledales de *Carpinion betuli* (HIC 9160), en ambos casos con más de 10 especies, son las de mayor riqueza arbórea. Los hábitats más abundantes (i.e., hayedos, robledales, alcornocales o pinares mesogeanos [*P. pinaster*, *P. halepensis* y *P. pinea]*), tienen 3-4 especies. Datos similares se obtienen para los arbustos, a excepción de los encinares (HIC 9340), que con 7 especies son los hábitats más diversos (Pescador *et al.*, 2022).

La riqueza de especies en algunos de los principales pinares (*P. halepensis, P. pinea, P. sylvestris y P. nigra*) está estrechamente relacionada con la precipitación y la estructura del rodal (densidad de pies, coeficiente de variación del área basimétrica), no así con los incendios. Las relaciones suelen ser de tipo gaussiano, con máximos a niveles intermedios de la variable, salvo en *P. sylvestris,* cuya relación es lineal negativa. En general, la riqueza es mayor en los bosques naturales que en los plantados (Ruiz-Benito *et al.*, 2012).

Los procesos demográficos y la configuración del bosque son sensibles al clima. No obstante, la estructura (p. ej. densidad, área basimétrica, altura, etc.) y composición del rodal pueden llegar a ser más determinantes de la sensibilidad a algunos extremos climáticos que la naturaleza del bosque (plantado o natural) (Camarero *et al.*, 2021; Navarro-Cerrillo *et al.*, 2019). La mortalidad de los árboles aumenta conforme lo hace la temperatura o disminuye la precipitación. Estos efectos se magnifican con la competencia (i.e., alta densidad de pies o área basal) y afectan a todas las especies, pero particularmente a las de hoja ancha (Ruiz-Benito *et al.*, 2013). La sequía disminuye el crecimiento, promueve la mortalidad de los árboles, particularmente de aquellos con madera menos densa y menor área específica foliar, y puede llegar a producir decaimiento forestal (Greenwood *et al.*, 2017; Guada *et al.*, 2016; Sánchez-Salguero *et al.*, 2012; Camarero *et al.*, 2021). El reclutamiento de nuevos individuos puede verse facilitado por la estructura, en concreto por la presencia de especies de matorral que actúan como nodriza (Castro *et al.*, 2004). No obstante, bajo condiciones de sequía, este efecto puede diluirse (Lucas-Borja *et al.*, 2016). De igual manera, los árboles adultos pueden ejercer un efecto positivo sobre el crecimiento de los juveniles. Sin embargo, tal efecto puede tornarse negativo bajo condiciones de sequía (Andivia *et al.*, 2018).

Los bosques españoles han aumentado su diámetro medio durante las últimas décadas (Astigarraga *et al.*, 2020). Igualmente, la densidad de pies mayores (ind. ha^{-1}) ha aumentado desde el primer

boreayriquezaarbustiva_tcm30-153898.pdf.

inventario forestal (IFN1, 1960) hasta el último (IFN4, 2020)[10]. La densidad de pies menores (ind. ha^{-1}) aumentó entre los dos primeros inventarios, para luego decrecer dicho aumento e incluso disminuir del tercer al cuarto inventario. La abundancia arbórea (m^3 ha^{-1}) ha aumentado desde el primer inventario al último. Finalmente, el cociente de pies menores/pies mayores aumentó entre los dos primeros inventarios, pero luego ha ido disminuyendo. En resumen, ha habido una maduración de los bosques con el tiempo, así como una mayor densificación y ocupación arbórea, aunque la dinámica de los pies menores no ha seguido la pauta general, disminuyendo incluso en los últimos años.

Entre los IFN3 y IFN4 se ha producido un aumento significativo del daño en los árboles de los distintos tipos de bosques (gimnospermas, angiospermas y mixtos). El daño es menor en los primeros y similar y menor en los otros dos. Por otro lado, la mortalidad también ha aumentado entre inventarios (IFN2 a IFN3 e IFN3 a IFN4) en un 23 %, siendo los bosques de gimnospermas los que mayor incremento de mortalidad han tenido. Las menores mortalidades se dan en los bosques de angiospermas, seguidas de los otros dos tipos de bosque, que presentan valores similares entre ellos (Rebollo *et al.*, 2024). Los mayores daños y mortalidades se producen a altas densidades del rodal y donde las sequías son más frecuentes. Las altas densidades de pies aumentan la competencia y reducen la luz que llega al sotobosque, aumentando la mortalidad de los árboles menores (Jump *et al.*, 2017; Rebollo *et al.*, 2024).

La riqueza arbórea ha aumentado entre los distintos inventarios, fundamentalmente por colonización de quercíneas bajo bosques que inicialmente eran puros de coníferas (Astigarraga *et al.*, 2020). Esto ha hecho que los bosques clasificados como mixtos hayan crecido desde el primer inventario forestal nacional (IFN1, 1960) (5,9 %) al último (IFN4, 2020) (23,5 %). Esta tendencia se ha dado en todos los tipos de bosques, siendo mayor en los bosques mixtos de hoja ancha, en los mixtos de coníferas y en los de hoja ancha. Los porcentajes de cambio son decrecientes desde la región atlántica a la alpina y a la mediterránea (Sánchez de Dios *et al.*, 2023). Este cambio lleva asociado también otro en el estrato juvenil, en tanto que en los bosques mixtos es mayor que en los puros de coníferas (Urbieta *et al.*, 2011). En general, se ha venido produciendo una expansión de las encinas (*Q. ilex*) en detrimento de las coníferas e incluso de otras especies caducifolias de *Quercus*. El cambio de bosques de gimnospermas a otros más dominados por encinas o robles ha podido verse favorecido por la alta cantidad de superficies plantadas con coníferas en su área de distribución, plantaciones que no siempre se han realizado con condiciones favorables para ellas. El cierre de la cubierta de estas plantaciones ha ido permitiendo la colonización del sotobosque por los *Quercus* (Fernández-Manjarrés *et al.*, 2018), tanto por rebrote de plantas preexistentes como por semillas, las cuales pueden ser

[10] Los datos del IFN4 son incompletos, por lo que las tendencias de tercer al cuarto inventario podrían cambiar ligeramente.

transportadas a grandes distancias por sus dispersores (Pons & Pausas, 2007). Esto hace que, tras un incendio, se pueda producir un cambio en el tipo de bosque que se regenera, con un predominio creciente de especies de quercíneas (Torres *et al.*, 2016).

La cadena de impacto: peligro, exposición y vulnerabilidad

La Figura 2 muestra los componentes de este riesgo y la correspondiente cadena de impacto. Sus principales peligros vienen derivados del aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones, particularmente en la zona mediterránea, así como del aumento del déficit de la presión de vapor del aire y del aumento de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos (Seneviratne *et al.*, 2021). Los bosques expuestos son todos ellos, incluyendo los servicios que prestan. La exposición es elevada, pues la superficie forestal arbolada en España comprende un total de 19,2 Mha (MITECO, 2024a). Además, el 81% de la superficie terrestre protegida en España es forestal. El 40 % de los montes españoles se encuentran incluidos dentro de algún espacio protegido o en zonas de la Red Natura 2000; en total, 11,4 millones de hectáreas, de las cuales más de 7 millones corresponden a superficie arbolada y casi 4 millones a superficie desarbolada (MITECO, 2024a).

La mayor vulnerabilidad de los bosques españoles frente al cambio climático radica en que buena parte de ellos son jóvenes, y los individuos jóvenes son más sensibles a los extremos climáticos, incluso al cambio climático, que los más viejos (Colangelo *et al.*, 2021; Ruiz-Benito *et al.*, 2013). Esto hace que los árboles pequeños, incluido el regenerado, puedan sufrir mortalidades mayores como consecuencia de déficits hídricos y sequía. No obstante, aunque la sequía es un factor de riesgo para la integridad del bosque, la mayor o menor disponibilidad hídrica no necesariamente es el único factor de vulnerabilidad, al intervenir otros factores, como la competencia ligada a la densidad del rodal. Por ello, los sitios más húmedos no son necesariamente los que presentan menores mortalidades, de ahí la necesidad de contemplar la vulnerabilidad conjuntamente entre factores bióticos y abióticos (Rebollo *et al.*, 2024; Ruiz-Benito *et al.*, 2013).

Muchos de nuestros bosques son plantados, con densidades y estructuras de tamaño que no necesariamente se corresponden con lo esperable para su ambiente climático o edáfico. La falta de correspondencia entre las densidades actuales y los extremos climáticos del cambio climático hace que áreas con exceso de densidad sean más vulnerables (Jump *et al.*, 2017; Ruiz-Benito *et al.*, 2013).

Las poblaciones de especies arbóreas relictas y de distribución fragmentada, abundantes en nuestra geografía, presentan una variación genética baja y una diferenciación genética alta (Rehm *et al.*, 2015). Dado que algunas formaciones se encuentran en islas ecológicas, como puede ocurrir con las coníferas de montaña (Blanco-Cano *et al.*, 2022), lo que a menudo coincide con el límite de distribución de las especies, hace a estas especies especialmente vulnerables (Benito Garzón

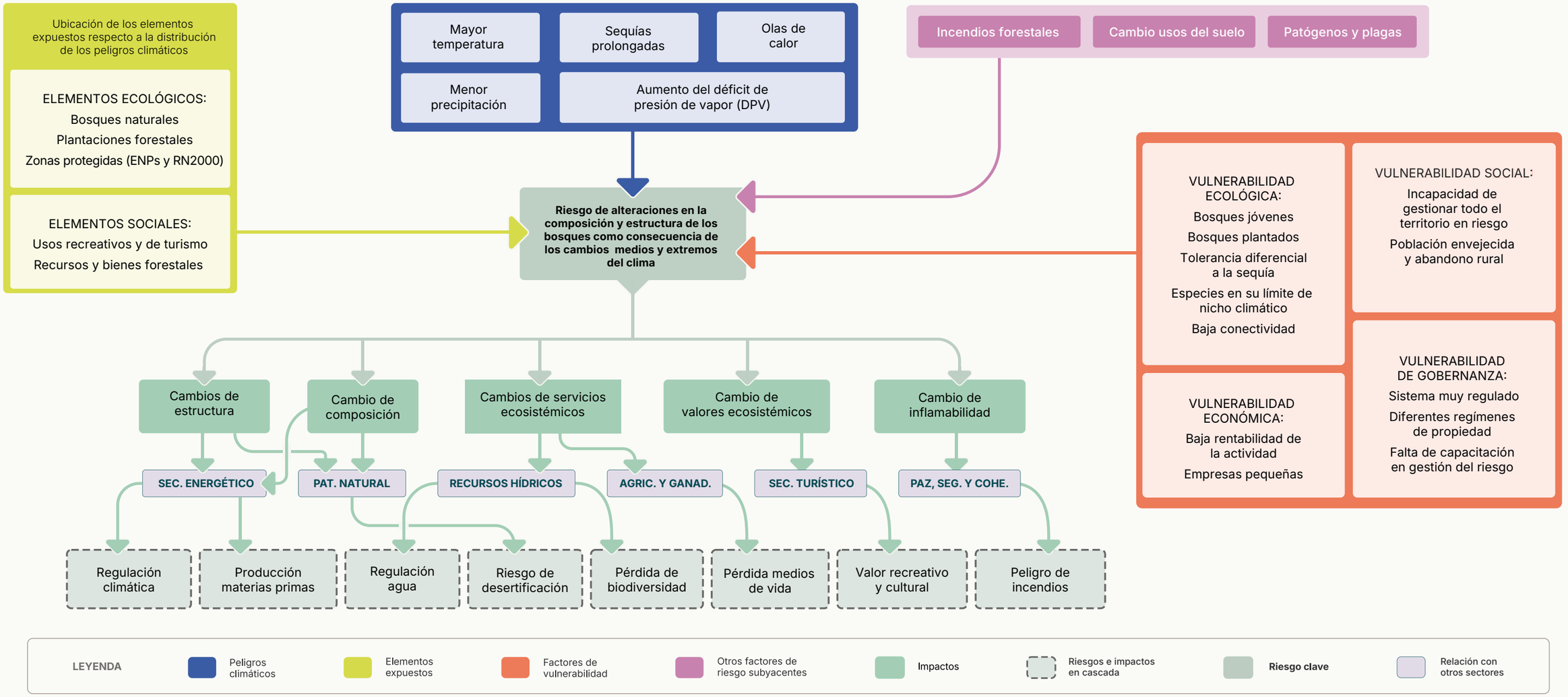


Figura 2. Cadena de impacto del riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima.

et al., 2008; Ruiz-Labourdette *et al.*, 2012). La diversidad genética actual de algunas poblaciones y especies es el resultado de las acciones antrópicas sobre ellas, como los cambios de usos del suelo (Cobo-Simón *et al.*, 2020) o las cortas, para favorecer el rebrote de raíz o el adehesamiento (p. ej. *Q. pyrenaica*). Las poblaciones de las especies mediterráneas de pinos y quercíneas muestran variación genética en respuesta a la sequía, lo que sugiere que es el resultado de su adaptación local (Ramírez-Valiente *et al.*, 2022). Por ello, puesto que buena parte de nuestros bosques son plantados, el origen de las semillas puede ser determinante de la regeneración (Lucas-Borja *et al.*, 2017), ya que su procedencia puede estar condicionando su respuesta al clima y al cambio climático. La formación de clones por rebrote, en algunos casos de grandes proporciones, como ocurre con *Q. ilex,* promovida en ambientes fragmentados, puede reducir la variación genética (Ortego *et al.*, 2010). Una menor diversidad genética puede afectar a la capacidad de respuesta de la población frente a los extremos climáticos y al cambio climático (Lloret & García, 2016). Otra vulnerabilidad general, particularmente en los ambientes mediterráneos, es el suelo de los bosques, poco desarrollado, bajo en carbono orgánico (COS) y sujeto a mayor erosión (ver RC4.2). Esto dificulta los procesos de establecimiento de las especies (Castro *et al.*, 2004).

Los bosques sufren perturbaciones y, en nuestra región, el fuego es la más importante (ver RC4.5), por lo que su capacidad de regeneración postincendio es crítica. Algunas especies no tienen mecanismos de respuesta a los incendios de copas y alta intensidad que predominan en nuestro país (p. ej. pinos de montaña [*P. sylvetris*, *P. nigra*, *P. uncinata*], *Juniperus badia* [ex *J. oxycedrus* continental]), por lo que, tras el fuego, la comunidad tendrá que empezar a regenerarse a partir de fuentes externas, lo que puede suponer una dificultad en ambientes fragmentados, con fuentes de semillas lejanas. Otras especies poseen estróbilos serótinos, en los que las semillas sobreviven al fuego. El incremento térmico induce la apertura de las estructuras reproductivas y la dispersión de las semillas, las cuales germinarán en otoño, contribuyendo a la regeneración poblacional (p. ej. *P. halepensis*, *P. pinaster, P. pinea*). Otras rebrotan tras el fuego (p. ej. *P. canariensis*, *Tetraclinis articulata*, *Q. ilex*, *Q. pyrenaica*) (Paula *et al.*, 2009), para lo cual sus reservas en carbohidratos son cruciales. Estas reservas pueden verse negativamente afectadas por la falta de agua y la sequía, lo que puede disminuir su regeneración (Galiano *et al.*, 2012; Resco de Dios *et al.*, 2020). La mayoría de las igniciones son de origen humano (Vázquez & Moreno, 1998), y la frecuencia de incendios es mucho mayor que la que se producía en el pasado bajo un régimen natural. Por ello, la presión del fuego bajo un régimen de perturbación que excede lo esperable naturalmente, debido al aporte continuo de fuentes de ignición humanas, es un elemento importante del cambio de los bosques españoles en la actualidad.

Impactos del riesgo

El cambio climático, con su aumento del estrés hídrico, disminuye la productividad de las especies forestales, su capacidad reproductiva y su tasa de reclutamiento, al tiempo que aumenta su mortalidad (Benavides *et al.*, 2013; Hacket-Pain *et al.*, 2016; Rubio-Cuadrado *et al.*, 2021). El estrés climático, además, puede disminuir la capacidad de respuesta a los parásitos, la competitividad frente a otras especies (Blanco-Cano *et al.*, 2022), y la fenología reproductiva de las especies, afectando a su capacidad para producir semillas (García-Barreda et al., 2021). De esta manera se pueden producir cambios, tanto en la estructura (p. ej. falta de regeneración, pérdida de efectivos poblacionales) (Carnicer *et al.*, 2014) como en la composición (pérdida de las especies más sensibles) de los bosques (Lloret *et al.*, 2022). De hecho, estos cambios ya se están observando (Astigarraga *et al.*, 2020; Ruiz-Benito *et al.*, 2013; Sánchez de Dios *et al.*, 2023). Se ha observado que la competencia entre especies magnifica los efectos del clima sobre la mortalidad de los árboles, particularmente en las especies de frondosas (Ruiz-Benito *et al.*, 2013).

Por lo tanto, cabe esperar que las formaciones arbóreas más vulnerables sean aquellas situadas en zonas donde el clima esté cambiando más allá del umbral de tolerancia climático de alguna de sus especies (por ejemplo, en los límites de su distribución) y que, por tanto, tengan mermada su capacidad de recuperación. Los nichos climáticos actuales se desplazarán hacia el norte y en altitud, por lo que los efectos serán más acusados en las zonas que estén en el límite de distribución de las especies (Benito Garzón *et al.*, 2008). En las zonas de frontera entre ecosistemas, es probable que la riqueza aumente transitoriamente, conforme las nuevas especies colonizan el hábitat de otras cuyo nicho climático se habrá desplazado en altitud o en latitud (Blanco-Cano *et al.*, 2022; Hernández *et al.*, 2017).

En general, las especies de alta montaña y las frondosas caducifolias (p. ej. *Fagus sylvatica, P. sylvestris*), menos resistentes a la sequía y a una atmósfera más desecante, perderán área de distribución a expensas de las más resistentes, como algunos pinos (p. ej. *P. halepensis*) y la encina (*Q. ilex*) (Benito Garzón *et al.*, 2008; Gazol *et al.*, 2022; Hernández *et al.*, 2017). El predominio de *Q. ilex* frente a especies más mésicas se ve favorecido por la alta reforestación con coníferas que está favoreciendo la ocupación por esta especie una vez que se produce el cierre de la cubierta. Esta expansión se verá favorecida por la aparición de manchas ligadas a la mortalidad de los árboles, lo que facilita el recambio (Ruiz-Benito *et al.*, 2017). En general, los efectos son particularmente visibles en el extremo meridional y a bajas altitudes de la distribución de las especies (Hampe & Petit, 2005) e inciden de manera específica en formaciones que están en zonas especialmente sensibles (p. ej. alta montaña) (Giménez-Benavides *et al.*, 2018). En general, se prevé que la diversidad de los bosques disminuya, tanto más cuanto mayor sea la emisión de gases de efecto invernadero. Los mayores cambios se darán en el sureste y centro-sur peninsular (Buras & Menzel, 2019) (**Figura 3**).

Asimismo, se prevé que la estructura de los bosques cambie por la mortalidad de los árboles pequeños y el menor regenerado (Colangelo *et al.*, 2021; Rebollo *et al.*, 2024). De nuevo, estos procesos serán más acusados en las áreas meridionales o a bajas altitudes de la distribución de las especies, donde la precipitación es más limitante. En general, estos cambios disminuirán las dinámicas de sucesión secundaria en los bosques plantados, reduciendo así su proceso de recambio de especies y de maduración (Rebollo *et al.*, 2024). Las mayores mortalidades de árboles aumentarán la biomasa muerta, lo que es muy importante para los organismos descomponedores que viven de ella y sus cadenas tróficas, al ser esta una componente esencial del ecosistema (Paillet *et al.*, 2010). La cantidad total de biomasa muerta es mayor en las zonas alpinas, atlánticas, macaronésicas y mediterráneas, en este orden. La proporción frente a la biomasa total, sin embargo, es la contraria (Alberdi *et al.*, 2020). La biomasa muerta seca es un factor que contribuye a la intensidad del fuego. Los incendios intensos tienen una mayor probabilidad de afectar a la integridad del bosque, al aumentar la mortalidad de los adultos, reducir el número de semillas que sobreviven en la bóveda y la regeneración, particularmente en el caso de especies semilladoras, no tanto de las rebrotadoras (Broncano & Retana, 2004; García-Jiménez *et al.*, 2017). Además, la dinámica postincendio puede favorecer la acumulación de combustible, lo que, en caso de producirse un nuevo incendio, podría dar lugar a eventos igualmente intensos, dificultando así la persistencia de la comunidad (Francos *et al.*, 2016).

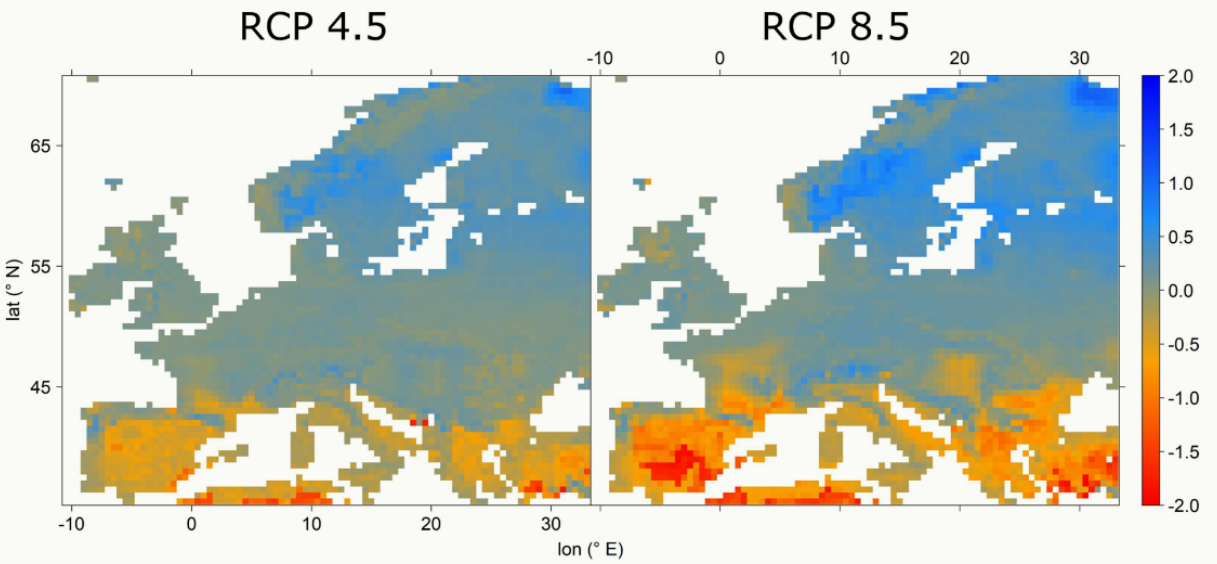


Figura 3. Cambio del índice de diversidad de Shannon H de especies arbóreas de los bosques europeos para los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha) para finales de siglo (2061-2090). Los colores rojo y naranja indican pérdida de diversidad de especies arbóreas, mientras que el color azul indica aumento de esta. Fuente: Buras & Menzel 2019.

Con el cambio climático, se espera una disminución de la productividad de muchas especies forestales, especialmente de aquellas más sensibles a la sequía o a las altas temperaturas. Esta reducción será tanto mayor cuanto más aumente la temperatura y más disminuya la precipitación, particularmente durante la primavera, una estación clave para el crecimiento vegetativo (Camarero *et al.*, 2021; Navarro-Cerrillo *et al.*, 2018) (ver RC4.3). Aunque se mantuviese la precipitación sin cambio, el aumento de la demanda de vapor de agua por una atmósfera recalentada conllevaría una aridificación (Beguería *et al.*, 2025), con sus consiguientes efectos sobre el crecimiento de algunas especies (Castellaneta *et al.*, 2022). La producción de semillas se relaciona estrechamente con la productividad, la cual depende de la climatología anual, especialmente de la precipitación. Por ello, es esperable una menor cosecha de semillas, lo que podría afectar los procesos de regeneración por esta vía (Pérez-Ramos *et al.*, 2010; Ribeiro *et al.*, 2022). Sin embargo, mecanismos internos como la vecería, mediante los cuales las especies acumulan reservas y producen semillas de forma intermitente e independiente de las condiciones climáticas, pueden distorsionar la relación entre productividad y climatología (Lucas-Borja & Vacchiano, 2018). Este fenómeno puede generar un desacople entre la producción de semillas y las condiciones ambientales, cuando la vecería induce una elevada cosecha en años marcados por eventos climáticos adversos, como la sequía. Tal situación puede afectar negativamente al crecimiento del árbol, aumentar su vulnerabilidad y limitar tanto la germinación como el establecimiento (Aguirre *et al.*, 2019; Ruiz-Benito *et al.*, 2014; Vilà *et al.*, 2007).

La mayor vulnerabilidad se dará en aquellas masas que han recibido una gestión insuficiente o inadecuada, teniendo en cuenta el origen artificial de muchas de ellas y las altas densidades de plantación (p. ej. plantaciones de coníferas realizadas a lo largo del siglo XX) o que han sido objeto de una mala gestión (p. ej. cicatrices del descorche de los alcornoques) (Catry *et al.*, 2012; Oliveira & Costa, 2012). Tal y como se indica en el riesgo RR4.3, el cambio climático, unido al abandono de muchas zonas forestales, ha puesto de manifiesto vulnerabilidades que amenazan la conservación de los bosques al debilitar a los árboles y hacerlos más propensos a plagas y enfermedades (Allen *et al.*, 2010; López-Sánchez *et al.*, 2021; Trumbore *et al.*, 2015). Asimismo, la falta de regeneración natural en muchas masas forestales puede comprometer su viabilidad a medio plazo y afectar a su explotación económica, así como los valores ecosistémicos a medio y largo plazo. Los daños abióticos (principalmente por sequía) y bióticos (por defoliación por plagas) son factores adicionales de vulnerabilidad. Se está observando decaimiento y mortandad en quercíneas por el efecto de la seca con pérdidas multifuncionales y económicas (López-Sánchez *et al.*, 2021). Los procesos de decaimiento no solo varían entre las especies arbóreas que coexisten, sino que también dependen de la tolerancia/resistencia genética de cada ejemplar (Vázquez-González *et al.*, 2021). También influyen la edad del árbol y la densidad de la masa, caracterizándose por respuestas retardadas en algunas especies. Por estos motivos, la muerte de los bosques suele ser un proceso no lineal. Esto, unido a la falta de conocimientos cuantitativos sobre el umbral de mortalidad por sequía y estrés térmico de muchas especies (McDowell *et al.*, 2020), reduce significativamente la capacidad de predecir las tasas de mortalidad forestal a nivel regional y local (FAO & Plan Bleau, 2018).

Este riesgo podría producir efectos en cascada más allá de las fronteras del sistema, ya que las alteraciones en la composición y estructura de los bosques podrían tener efectos sobre otros organismos que dependen de los ecosistemas forestales, como la fauna silvestre, los insectos y los microorganismos (Liebhold *et al.*, 2017), provocando su redistribución (Taheri *et al.*, 2021). Uno de estos efectos podría ser la limitación en la dispersión de las especies, lo que puede provocar el aislamiento o la pérdida de poblaciones locales (Lemes *et al.*, 2022).

Dado que la estructura del rodal, como la densidad de pies y el área basimétrica, determina la intensidad de la competencia intra e interespecífica, bajo las nuevas condiciones de mayor estrés hídrico, el aclareo puede favorecer la persistencia de las especies al reducir la mortalidad y facilitar el regenerado (Lechuga *et al.*, 2017). Los aclareos intensos pueden reducir la mortalidad de los árboles en las zonas sometidas a estrés hídrico, particularmente en los ambientes xéricos (Górriz-Mifsud *et al.*, 2022), aunque pueden comprometer el regenerado de las especies más tolerantes a la sombra. Dada la importancia del fuego para la persistencia del ecosistema, las estrategias destinadas a reducir su frecuencia e intensidad son críticas, lo que requiere una fragmentación del paisaje (Duguy *et al.*, 2007) y una gestión que evite la formación de combustibles en escalera que promueva los incendios de copas, ya que la estructura de la vegetación determina la severidad del incendio (Viedma *et al.*, 2009; Viedma & Moreno, 2025). Muchas especies tienen diversidad genética y plasticidad fenotípica, lo que les permite adaptarse a las nuevas condiciones (Leites & Benito Garzón, 2023). La alteración de la composición de especies o la falta de regeneración podría recuperarse mediante regeneración pasiva o activa, pero dependerá de las condiciones climáticas y la respuesta de las especies a la sequía (Astigarraga *et al.*, 2020).

No se esperan impactos graves directos sobre la población; los impactos serían indirectos sobre los propietarios o usuarios del bosque por la pérdida de calidad de estos y cambios en su estructura (p. ej. falta de regeneración natural). Se espera un impacto económico limitado de este riesgo, pues la contribución del sector forestal al PIB es inferior al 1% (MITECO, 2020). No obstante, se estima que decenas de miles de personas empleadas en el sector forestal podrían verse afectadas por potenciales efectos significativos (pérdidas de recursos, malestar).

Ficha 1. Análisis del riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Limitada	Sustancial	Sustancial
	Los cambios que se vienen observando se deben a una mezcla de factores entre los que se encuentran el cambio climático y los cambios en el uso del suelo (Sánchez de Dios et al., 2023).	En general, los estudios se centran en los escenarios de mayor calentamiento (RCP 4.5, RCP 8.5), por lo que no hay estimaciones para este nivel. No obstante, el calentamiento observado se aproxima a este nivel y los cambios observados son limitados.	Se espera una disminución de la diversidad de los conjuntos de especies en la región mediterránea (Buras & Menzel, 2019). Se prevén importantes cambios en la composición de especies por desplazamiento de los óptimos climáticos de muchas especies que se retraerían de los límites de su distribución (principalmente centro y sur peninsular y zonas de baja montaña) y otras que podrían ocupar nuevos territorios, principalmente en zonas de montaña (Pirineos, Cantábrica, Sistemas Central e Ibérico) (Mauri et al., 2022).	La disminución de la diversidad será más intensa que con el nivel de calentamiento anterior (Buras & Menzel, 2019). Los efectos sobre la distribución de especies serán más intensos que en el escenario a 2 °C, pero con patrones similares. (Mauri et al., 2022). Desaparición de especies en buena parte de su territorio actual, principalmente bosques de frondosas y pinares de montaña, aunque también especies mediterráneas de amplia distribución (Q. ilex, P. halepensis). Algunas especies podrían ocupar nuevos territorios si tienen capacidad de migración (González-Díaz et al., 2020).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Media · Alto	· Media · Medio	· Media · Medio
	Existen numerosos trabajos que evidencian un cambio tanto en la estructura como en la composición. No obstante, en estos cambios inciden factores climáticos o de otro tipo difíciles de separar unos de otros (Améztegui et al., 2010; Sánchez de Dios 2023).	Aunque no hay modelizaciones para este nivel de calentamiento, las observaciones hasta la fecha y las proyecciones con otros niveles de calentamiento son consistentes y están basadas en procedimientos robustos.	Existen modelos basados en escenarios de clima futuro que reflejan bien los posibles cambios. No obstante, hay incertidumbres por los niveles de resolución espacial de los modelos y las aproximaciones de modelización que no se basan en las dinámicas propias a nivel de rodal, sino en cambios generales sobre la distribución de las especies.	Existen modelos basados en escenarios de clima futuro que reflejan bien los posibles cambios. No obstante, hay incertidumbres por los niveles de resolución espacial de los modelos y las aproximaciones de modelización que no se basan en las dinámicas propias a nivel de rodal, sino en cambios generales sobre la distribución de las especies.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Incremento del estrés hídrico por mayor frecuencia de sequías y por incremento de las temperaturas. Aumento del déficit de la presión de vapor.	Las zonas donde podría manifestarse este riesgo son extensas. Moderada relevancia económica a nivel nacional. Gran cantidad de valores ambientales que podrían verse modificados.	Especies en su límite de distribución especialmente sensibles. Formaciones aisladas (efecto isla) (p. ej. montañas) muy vulnerables por poca conectividad. Escasa capacidad de recuperación para las especies en las que el hábitat ya no sea favorable. Factores potencialmente reductores de la vulnerabilidad: • Capacidad de adaptación genética y por plasticidad fenotípica de algunas especies. • Aplicación de medidas de adaptación (gestión forestal).

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El cambio en composición y estructura de las masas arbóreas puede afectar a los servicios ecosistémicos que los bosques proveen (Balzan et al., 2020; Peñuelas et al., 2017), entre los que se encuentran las actividades recreativas y el turismo, nacional o extranjero, y su capacidad de controlar el clima.
Territoriales	Todo el territorio español se ve afectado por este riesgo, aunque puede ser más acusado en las zonas de montaña, en formaciones en el límite de su distribución y en masas con una gestión insuficiente.
Sociales	No se esperan impactos graves directos sobre la población. Los impactos serían indirectos sobre los propietarios o usuarios del bosque por la pérdida de calidad de estos. Se estima que decenas de miles de personas empleadas en el sector forestal podrían verse afectadas por este riesgo.
Maladaptación	Medidas de explotación a corto plazo que no permitan la regeneración natural de las especies. La reforestación con especies no adaptadas al clima futuro o susceptibles a plagas o incendios. Falta de diversidad genética.
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Cuellos de botella en la regeneración (reclutamiento de nuevos individuos). Mortalidad a partir de ciertos niveles de estrés hídrico (p. ej. en el clima español, precipitaciones inferiores a unos 300-350 mm son incompatibles con la presencia de árboles, dominando los arbustos). Intervalos entre incendios menores a la edad de madurez de especies de pinos serótinos (p. ej. aunque varía entre especies, hasta los 10-12 años la mayoría de las especies de pino no producen piñas, aunque precisan algunos años más para que esta producción sea capaz de permitir una regeneración en caso de incendio).
Lock-in/Bloqueo	Falta de gestión activa de zonas rurales y forestales: El éxodo rural ha dejado muchas áreas sin capacidad de intervención. Los monocultivos forestales pueden reducir la resiliencia del ecosistema y dificultar su adaptación futura. La fijación en especies actuales, que ya no son viables bajo el nuevo clima, puede impedir la transición hacia comunidades más adaptadas. Inversiones en modelos forestales no resilientes, como subsidios a plantaciones vulnerables al cambio climático. Los mercados dependientes de especies específicas dificultan la transición hacia especies más adaptadas si no tienen valor comercial. La preferencia social por paisajes y prácticas tradicionales puede producir resistencia a los cambios necesarios en la estructura forestal y falta de participación comunitaria.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel nacional: • Existen planes y acciones reductores de los riesgos potenciales, como el aclareo, o la mejora y regeneración de la cubierta arbórea en masas vulnerables contempladas en el Plan Forestal Español o en la Estrategia Forestal Española 2050, que deben concretarse en la gestión forestal diaria. • Plan Forestal Español 2022-2032. • Estrategia Forestal Española horizonte 2050. A nivel autonómico/local: • Planes específicos. Un ejemplo de proyecto reciente que incluye este tipo de medidas de gestión del riesgo sería el Proyecto LIFE RedBosques.
Gobernanza de gestión del riesgo	En España las comunidades autónomas tienen la competencia principal en materia de gestión forestal, lo que incluye la planificación forestal y la gestión del combustible, así como un operativo de lucha contra el fuego y un cuerpo de agentes medioambientales propio. El Estado tiene competencias complementarias, de coordinación y apoyo, recogidas principalmente en la Ley 43/2003 de Montes, las cuales se llevan a cabo a través del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Por otro lado, los ayuntamientos con los principales propietarios de montes y junto a los propietarios privados son responsables de la gestión de sus montes.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación futuras se basan en la adopción de un modelo de gestión forestal adaptativo frente al cambio climático, que prime los bosques mixtos frente a los monoespecíficos, y las masas irregulares con rodales más abiertos para disminuir la competencia y fomentar la diversidad de especies. Estas medidas ayudarán a reducir el riesgo de incendios forestales (Adame et al., 2020), mejorarán la biodiversidad de los bosques (Ammer, 2019; Liang et al., 2016) y favorecerán el resto de los servicios ecosistémicos que ofrecen los sistemas forestales (Roces-Díaz et al., 2021).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Negativo, debido a que la mortalidad y los cambios en la composición de especies pueden dar lugar a una disminución de la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Positivo, pues una descarbonización supondría frenar el cambio climático y con ello el factor principal que lo promueve.
Déficits de información	Hay estudios científicos sobre cambios en la distribución de las especies de forma individual, pero no hay cambios en la composición de la comunidad. Tampoco hay estudios a gran escala que analicen la situación de falta de regeneración natural en muchas especies mediterráneas.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un seguimiento periódico. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5.2. RC4.2 Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo de los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema

Introducción al riesgo

La pérdida de calidad de los suelos forestales por la disminución de su contenido en carbono orgánico o por erosión es un riesgo clave porque puede afectar al conjunto de los bosques españoles, si bien de forma diferenciada. Dicha pérdida trae consigo una disminución de la productividad, uno de los elementos fundamentales de la degradación de la tierra y la desertificación. Por ello, sus efectos pueden terminar afectando no solo a quienes directamente viven del bosque y sus servicios, sino al conjunto de la población. Esto lo convierte en un riesgo clave. En esta sección, no obstante, se tratará de forma reducida, toda vez que, como se ha dicho, este riesgo afecta directamente a la desertificación/degradación de la tierra, donde será tratado más ampliamente (RC 4.4 Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales) y no solo para los suelos forestales, sino para todos los suelos.

El contenido en carbono orgánico del suelo (COS) es determinante de la calidad y productividad de los suelos forestales (Grigal & Vance, 2000; Miralles *et al.*, 2009; Nunes *et al.*, 2021). Además, el COS afecta a la estabilidad de los agregados edáficos, lo que aumenta su resistencia frente a la erosión (Blanco-Canqui & Benjamin, 2013; Cantón *et al.*, 2009). Los suelos españoles almacenan 3,3 ± 0,4 Pg[11] de COS (0-30 cm) y 4,2 ± 0,9 Pg (0–50 cm) (Calvo de Anta *et al.*, 2020), cuya mayor parte está contenida en los horizontes superficiales, por lo que es susceptible de perderse, lo que, de ocurrir, se interpreta como un indicador de su degradación (Obalum *et al.*, 2017). El contenido medio de COS de los suelos forestales españoles es del 3,70 % (0-30 cm) (Rojo Serrano *et al.*, 2022). Para valores de COS inferiores al 2 % se considera que el suelo está en condiciones pobres para realizar sus funciones (Olaya-Abril *et al.*, 2017). La alta intensidad de la lluvia bajo climas mediterráneos y la fragilidad de muchos suelos españoles (bajo contenido en COS y nutrientes, altas pendientes) producen la erosión del suelo (García-Ruiz, 2010). La erosión del suelo ocasiona pérdidas de compuestos inorgánicos y orgánicos, el COS entre ellos. Su pérdida reduce la agregación del suelo, lo que incrementa la susceptibilidad a una mayor erosión, generando un ciclo de retroalimentación negativa (Van Oost *et al.*, 2007).

[11] 1 Pg = 1015 g.

La tasa media de erosión de los suelos forestales españoles es de 10 t ha^{-1} a^{-1}. Pérdidas de suelo superiores a 2-3 t ha^{-1} a^{-1} se consideran excesivas y pueden causar una degradación del suelo difícilmente recuperable en los periodos de gestión habituales (MITECO, 2022b). La importancia de este fenómeno en los bosques se manifiesta en el hecho de que en los años 2019-2020, España invirtió en el control de la erosión y la restauración forestal alrededor de 32 M€ (MITECO, 2020).

En general, se observa una disminución de COS con la altitud, tanto en ambientes atlánticos como mediterráneos y para los diferentes tipos de bosques (Rojo Serrano *et al.*, 2022). La precipitación media anual (+) y la temperatura (-) son los factores ambientales que más determinan el contenido en COS de los suelos forestales españoles (Calvo de Anta *et al.*, 2020; Chiti *et al.*, 2012; Doblas-Miranda *et al.*, 2013). Así, el contenido en COS (%) es mayor en los suelos de Galicia (6,9 %) y menor en los de Murcia (1,6 %). La relación es lineal hasta los 800-900 mm de precipitación, variando luego según otras variables (Calvo de Anta *et al.*, 2020).

La erosión está estrechamente relacionada con el clima, ya que tanto la escorrentía como la erosión dependen en gran medida de la precipitación (Xiong *et al.*, 2019). El factor de erosividad de la lluvia es determinante de su capacidad para movilizar las partículas del suelo, y es mayor en las CC.AA de Cataluña, Valencia y Murcia que en el resto de España peninsular (Hernando, 2016). No obstante, existe gran variabilidad entre las montañas y los llanos (p. ej. Pirineos frente a las zonas bajas de la cuenca del Ebro) (Angulo-Martínez & Beguería, 2012). La erosión depende también de la cobertura vegetal (Ebabu *et al.*, 2022), y esta, al margen de la gestión, está muy relacionada con el clima, particularmente con la precipitación (Zhang *et al.*, 2017).

En las últimas décadas, los suelos españoles han acumulado COS debido a la densificación vegetal (Liski *et al.*, 2002; Padullés Cubino *et al.*, 2024), al abandono agrícola (Lasanta *et al.*, 2021; Lozano-García *et al.*, 2020) y a la reforestación (Cortijos-López *et al.*, 2024; Fernández-Ondoño *et al.*, 2010). La dinámica de acumulación de COS tras el abandono, particularmente bajo clima semiárido, está muy determinada por la precipitación (Gabarrón-Galeote *et al.*, 2015). La acumulación de COS tras la reforestación igualmente depende del clima, aumentando con la precipitación (Fernández-Ondoño *et al.*, 2010; Maestre & Cortina, 2004; Segura *et al.*, 2016). No obstante, las técnicas de reforestación pueden alterar la microtopografía y favorecer la escorrentía y la pérdida de suelo (Maestre & Cortina, 2004).

La cadena de impactos: peligro, exposición y vulnerabilidad

Los elementos expuestos son los suelos forestales españoles, cuya principal vulnerabilidad radica en que los bosques son mayoritariamente jóvenes, con bajo contenido en COS (García-Ruiz, 2010). También se podrán ver afectados por este riesgo los ecosistemas acuáticos situados aguas abajo, en tanto que la erosión aumenta el flujo de sedimento y reduce la calidad de las aguas (Casalí *et al.*, 2010). La pérdida de la capa fértil del suelo reduce la productividad forestal (Blaschke *et al.*, 2000). Esto puede afectar a las personas cuyo sustento depende del sector forestal. Los suelos regulan también los desastres relacionados con los deslizamientos e inundaciones, por lo que también estarían expuestas aquellas personas que viven en zonas susceptibles a estos riesgos (Carpena *et al.*, 2021; Saco *et al.*, 2021). La **Figura 4** representa los componentes de este riesgo.

Los suelos vulnerables son aquellos en zonas con altas pendientes, poco desarrollados o de alta montaña (García-Ruiz, 2010), los afectados por incendios de alta severidad y frecuencia (Morán-Ordóñez *et al.*, 2020) o con cobertura vegetal degradada (Selkimäki & González-Olabarria, 2017). También son más vulnerables las zonas con suelos pobres o zonas con clima semiárido con sequías estacionales y lluvias torrenciales (Tariq *et al.*, 2024). Las regiones más vulnerables incluyen el sureste peninsular (Murcia, Almería, Alicante), zonas del Valle del Ebro y áreas montañosas del Sistema Bético y Pirineos. Las islas Canarias también presentan focos importantes de pérdida de suelo, especialmente en zonas volcánicas con escasa cobertura vegetal.

Impactos del riesgo

Las proyecciones de modelos climáticos globales y regionales, como los desarrollados en el ámbito de la Unión Europea, sugieren una reducción generalizada de las existencias de COS del suelo en España como consecuencia del cambio climático (Yigini & Panagos, 2016) (**Figura 5**). La disminución aumenta bajo escenarios de emisiones más intensos, siendo el aumento de temperatura y la disminución de las precipitaciones los factores más relevantes (Chen *et al.*, 2024). Análisis regionales para la zona mediterránea arrojan disminuciones que, igualmente, aumentan con las emisiones, y que en algunos casos llegan al 35 % (p. ej. Sierra Morena) (Albaladejo *et al.*, 2013; Lozano-García *et al.*, 2017; Olaya-Abril *et al.*, 2017). Las zonas idóneas para mantener mayores contenidos en COS sufrirán un desplazamiento en latitud y altitud (Olaya-Abril *et al.*, 2017).

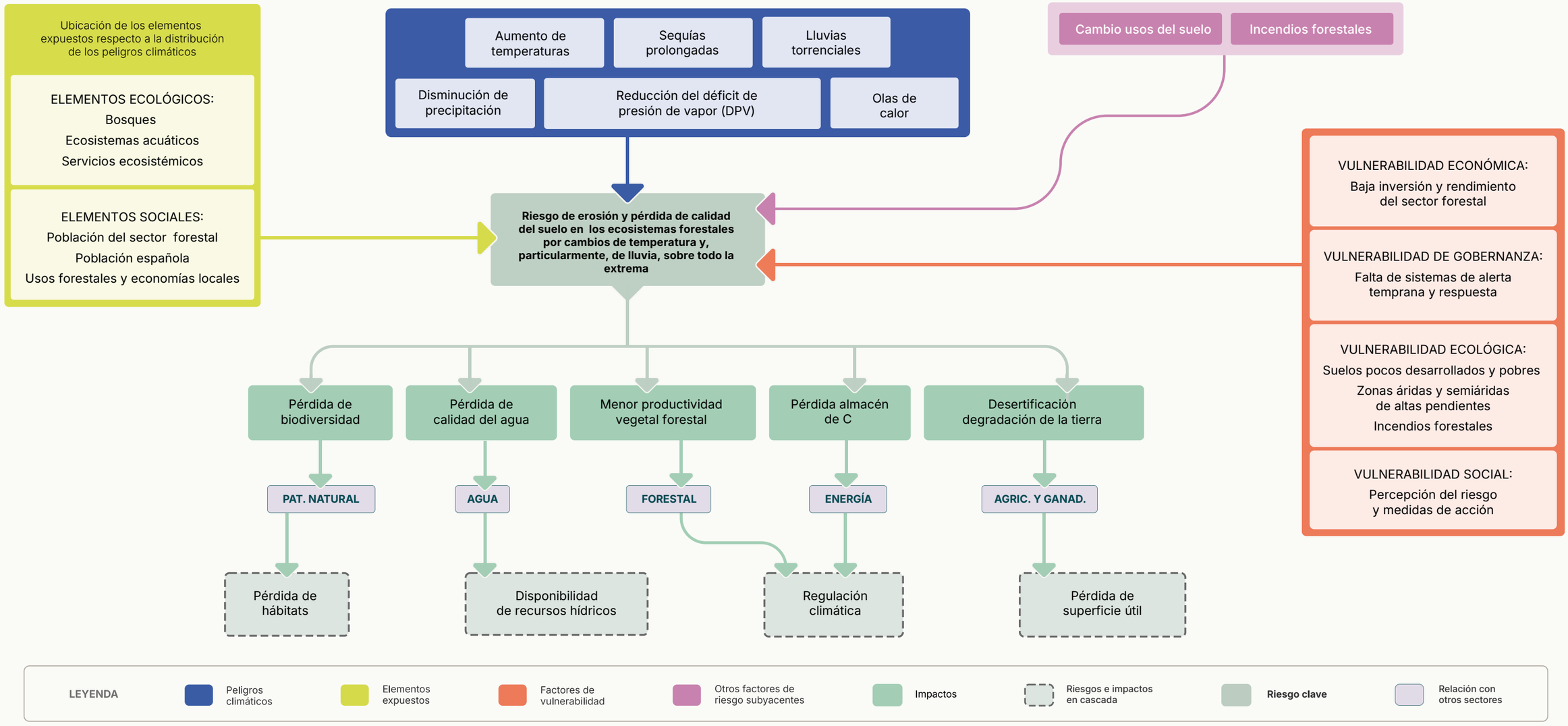


Figura 4. Cadena de impacto de riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema.

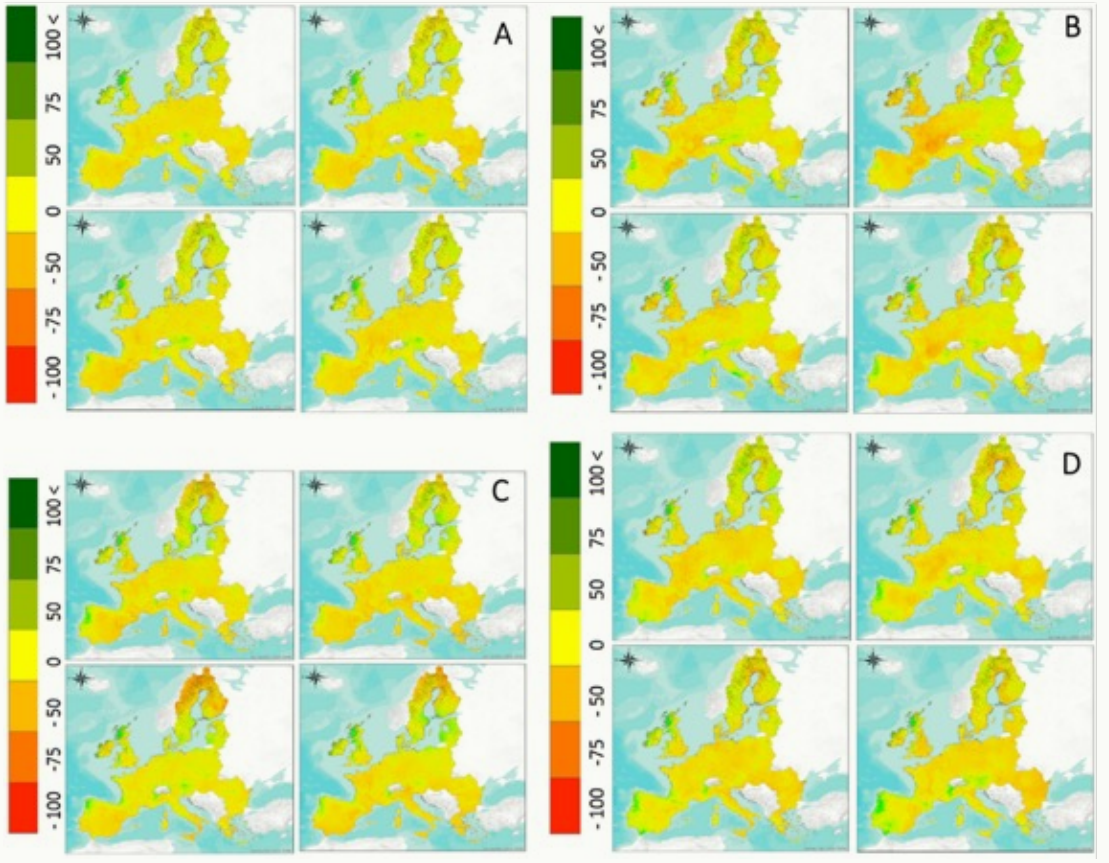


Figura 5. Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo para 2050 según escenarios y modelos climáticos. A) modelo CCSM4; B) modelo HadGEM2-AO; C) modelo IPSL-CM5A-LR; D) modelo RM-CGCM3. Los escenarios climáticos fueron: RCP 2.6 y RCP 4.5 (filas superiores de cada panel, de izquierda a derecha); RCP 6.0 y RCP 8.5 (filas inferiores de cada panel, de izquierda a derecha). Las áreas rojas representan disminución de las existencias de COS (t ha-1) y las verdes aumento en comparación con las condiciones actuales (mapas de fondo: ESRI, USGS, NOAA). Nótese que se incluyen todos los suelos, forestales o no. Fuente: Yigini & Panagos, 2016.

Según proyecciones de modelos globales, el cambio climático podría incrementar la erosión en un 10 % a escala mundial, con impactos particularmente intensos en regiones semiáridas, donde se prevé un aumento del 17,3 %. El aumento es creciente durante este siglo en consonancia con el aumento de las emisiones (Borrelli *et al.*, 2020; Eekhout & de Vente, 2022). Las cifras se basan en datos de cuenca, que no cuantifican la vegetación que albergan, lo que es relevante dado que las tasas de erosión de los ecosistemas forestales (0,2-0,6 t ha^{-1} a^{-1}) son las menores de todos los ecosistemas (Xiong *et al.*, 2019). En la España peninsular, para 2050 y bajo un escenario compatible con la senda actual de calentamiento (ca. RCP4.5), se espera que el factor de erosividad de la lluvia aumente un 9,1 %. No obstante, existe una gran heterogeneidad geográfica. Así, mientras que la erosividad disminuirá en la costa atlántica, Cataluña y el suroeste, aumentará en el resto del territorio (Panagos *et al.*, 2017). Simulaciones en una cuenca forestal del País Vasco bajo escenarios intermedios produjeron para finales de siglo disminuciones de la erosión o, en algún caso,

ligeros aumentos (Zabaleta *et al.*, 2014). En las cuencas mediterráneas españolas, a pesar de que se prevé una disminución de las precipitaciones, el aumento de la torrencialidad incrementará la erosión, con cifras que van del 27 % al 96 %, aunque también se anticipan descensos en algunas zonas (Eekhout *et al.*, 2021; Eekhout *et al.*, 2018). El resultado es sensible a los modelos de erosión y de clima, así como a los procedimientos de corrección del sesgo climático. Las principales discrepancias surgen cuando la disminución de la precipitación es tal que su efecto no compensa el aumento de torrencialidad (Eekhout *et al.*, 2021; Eekhout & de Vente, 2019). La limitada capacidad de resiliencia de los suelos más vulnerables, combinada con la falta de técnicas adecuadas de conservación y restauración, podría acelerar notablemente la degradación de los suelos forestales. Esto es más importante en los ecosistemas semiáridos del sureste español que tienen umbrales ecológicos que, una vez superados, no retornan a su estado original, demostrando una resiliencia natural limitada sin una gestión activa (Alados *et al.*, 2011; Capdevila *et al.*, 2022).

La adaptación debe centrarse en una gestión forestal sostenible, específicamente dirigida a controlar la pérdida de COS y la erosión del suelo. El aporte de restos orgánicos reduce la erosión al tiempo que aumenta el contenido de COS, mejorando la estructura y productividad del suelo (Hueso-González *et al.*, 2018). Dada la importancia de los incendios en generar erosión, la gestión forestal destinada a reducirlos, sobre todo los más intensos, es otra estrategia adecuada (ver RC4.5). Existen diferentes técnicas para disminuir la pérdida de suelo tras un incendio (Girona-García *et al.*, 2021). El mantenimiento de la cobertura vegetal perenne es crítico, dado que el cambio climático tenderá a disminuir la productividad y cobertura arbórea y aumentar el estrés hídrico de las plantas. El uso de aclareos de árboles de intensidad moderada que reduzcan la competencia entre las plantas y su mortalidad es una herramienta útil (Navarro-Cerrillo *et al.*, 2022). Este riesgo puede producir efectos en cascada más allá de las fronteras del sistema forestal, ya que podría interaccionar con el sector del patrimonio natural, causando pérdida de biodiversidad y de servicios ecosistémicos (Appiagyei *et al.*, 2022; Peñuelas *et al.*, 2017). La erosión y la pérdida de calidad del suelo son factores causales y aceleradores de la degradación/desertificación del suelo (véase riesgo clave RC4.4 Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales).

En cuanto a las recomendaciones de priorización, se requiere una planificación y preparación de respuestas a corto plazo, junto con una evaluación más detallada y estudios complementarios. Además, es necesaria una gobernanza transversal, basada en decisiones compartidas y una planificación conjunta.

5.3. RC4.3 Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas

Introducción al riesgo

Este riesgo se refiere a los impactos del cambio climático sobre la productividad y la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques de España. El carbono almacenado en los principales tipos de bosques españoles presenta un valor medio por hectárea de 56,26 ± 55,13 Mg C según los datos del tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3). Se observan valores más bajos en los pinares mediterráneos y submediterráneos dominados por *P. halepensis*, *P. pinea*, *P. pinaster* y *P. nigra*, y en bosques de quercíneas mediterráneas y submediterráneas dominados por *Q. ilex*, *Q. suber*, *Q. faginea* y *Q. pyrenaica*. Los valores más altos de almacenamiento de carbono se dan en bosques dominados por especies de frondosas, especialmente el haya (*Fagus sylvatica*) y el castaño (*Castanea sativa*), con valores intermedios para bosques dominados por otras frondosas (*Q. robur*, *Q. petraea*), pinares de montaña (*P. sylvetris*, *P. uncinata*) y otros pinares (*P. canariensis* y *P. radiata*) (González Díaz *et al.*, 2020).

En cuanto a la productividad, los bosques españoles presentan una media de fijación de carbono por hectárea y año de 1,54 ± 1,84 Mg C entre el segundo y el tercer Inventario Forestal Nacional (IFN2-IFN3) y de 0,86 ± 2,32 Mg C entre el tercer y el cuarto inventario (IFN3-IFN4) para las parcelas permanentes comparables de este último inventario. Esta productividad varía según el tipo de bosque, siendo menor en los pinares mediterráneos y en los bosques de quercíneas, mientras que alcanza valores más altos en los pinares exóticos (*P. radiata*) y en los bosques de frondosas (González Díaz *et al.*, 2020).

Este riesgo se considera clave debido a su estrecha relación con la temperatura y la precipitación, considerándose esta última como el factor más limitante para el crecimiento y distribución de las especies mediterráneas (Di Castri & Mooney, 2012; Esler *et al.*, 2018). Como consecuencia del aumento de aridez previsto para los bosques de la península ibérica (Masson-Delmotte *et al.*, 2021), podría disminuir significativamente la productividad de los sistemas forestales mediterráneos en el futuro, y, por ende, los servicios ecosistémicos que estos proveen (Balzan *et al.*, 2020; Peñuelas *et al.*, 2017). Entre ellos se encuentra su capacidad de absorción y almacenamiento de carbono, sin duda un servicio clave para la lucha contra el cambio climático (González Díaz *et al.*, 2020).

La cadena de impacto: peligro, exposición y vulnerabilidad

En la siguiente página se muestra un esquema de la cadena de impacto de este riesgo, con los componentes que inducen al mismo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de la combinación de estos componentes (**Figura 6**).

Los principales peligros climáticos impulsores de este riesgo son el incremento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones, así como el aumento de sequías y olas de calor (Masson-Delmotte *et al.*, 2021). Sin embargo, el aumento de las concentraciones de CO_2 y de las temperaturas ha provocado un incremento de la productividad de los bosques del hemisferio norte durante la segunda mitad del siglo XX (Pan *et al.*, 2024). Esto es debido al efecto fertilizador del CO_2 y al alargamiento de la estación de crecimiento que provocan unas temperaturas más suaves donde la productividad está limitada por las bajas temperaturas (Keenan, 2015; Norby *et al.*, 2010). A pesar de esto, evidencias recientes indican que la función de los bosques como sumideros de carbono está dando síntomas de saturación y su productividad y capacidad de absorción y almacenamiento de carbono podrían disminuir en los próximos años debido a las nuevas condiciones climáticas (Astigarraga *et al.*, 2020; Nabuurs *et al.*, 2013). Evidencias recientes señalan que las zonas forestales españolas han mostrado una leve reducción en su productividad y en su capacidad de captación de carbono, posiblemente asociada a las nuevas condiciones climáticas (González Díaz *et al.*, 2020; MITECO, 2024b).

Por tanto, la combinación de mayores temperaturas y menores precipitaciones, así como la ocurrencia de eventos extremos como sequías y olas de calor, harán que los bosques sean más proclives a la ocurrencia de grandes incendios forestales, al ataque de plagas o a la ocurrencia de enfermedades, perturbaciones que pueden disminuir la productividad de estos ecosistemas (Lecina-Díaz *et al.*, 2021; Peñuelas & Sardans, 2021). De hecho, aunque resulta complejo establecer un umbral crítico, está bien documentado que la persistencia de los bosques no es viable por debajo de un umbral de precipitación en torno a los 300 mm anuales. Por debajo de este límite, comienzan a dominar formaciones vegetales más adaptadas a la aridez, como los matorrales esclerófilos o incluso estepas arbustivas (Walter & Breckle, 2013). Además, si estos eventos climáticos extremos se agravan y los bosques son sometidos a una mala gestión o sobreexplotación, existen evidencias que indican que estos ecosistemas forestales pueden disminuir de manera significativa su productividad (Boisvenue & Running, 2006) e incluso pasar de ser un sumidero a una fuente de emisión neta de carbono (Ciais *et al.*, 2005; Peñuelas *et al.*, 2017).

Los principales elementos ecológicos expuestos son los bosques en sí mismos, independientemente de cuál sea su valor natural y grado de protección, o de si se trata de bosques naturales o plantaciones forestales. La superficie forestal arbolada en España supone que un 38 % del territorio nacional (MITECO, 2024a) estaría expuesto a estos peligros climáticos, repartidos en mayor o menor medida

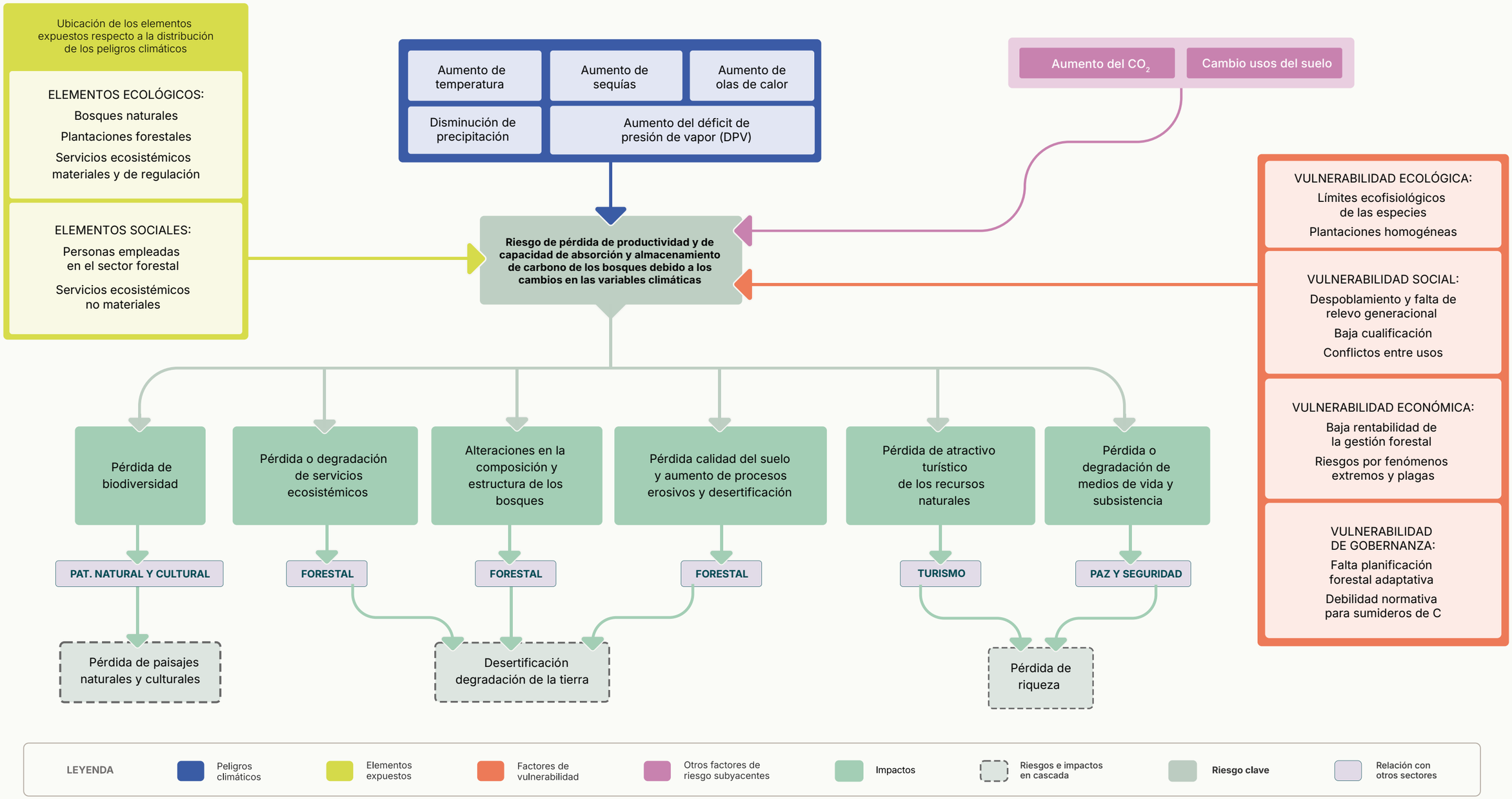


Figura 6. Cadena de impacto del riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas.

por todas las comunidades autónomas de la geografía española. Además, no solo estaría expuesto el territorio forestal, sino también los servicios ecosistémicos dependientes de la productividad forestal, como los bienes materiales (biomasa para energía, madera, fibras, etc.), no materiales (ocio y recreo, etc.) o los servicios de regulación (control del clima y la calidad del aire, regulación del ciclo hidrológico, protección del suelo, etc.) (IPBES, 2017).

Desde el punto de vista social, aunque se espera un impacto económico limitado de este riesgo, pues la contribución del sector forestal al PIB es inferior al 1%, se estima que decenas de miles de personas empleadas en el sector forestal podrían verse directamente afectadas por la pérdida de productividad de los bosques (MITECO, 2020). No obstante, al ser el almacenamiento de carbono un servicio ecosistémico clave en la lucha contra el cambio climático (Balzan *et al.*, 2020), el número de afectados de forma indirecta podría ser mucho mayor.

La vulnerabilidad ecológica está estrechamente vinculada a los límites ecofisiológicos de las especies presentes en nuestros bosques, que podrían verse superados ante extremos climáticos como sequías y olas de calor (Hartmann *et al.*, 2022), afectando así a la productividad de dichos ecosistemas (Lange, 2020). Las especies eurosiberianas situadas en el límite meridional de su distribución, ubicadas principalmente en las zonas húmedas del norte y noroeste peninsular (p. ej. *Fagus sylvatica* o *Castanea sativa*), así como las especies de montaña (p. ej. *P. sylvestris*) podrían verse especialmente afectadas (Morán-Ordóñez *et al.*, 2021; Tijerín-Triviño *et al.*, 2025; Vayreda *et al.*, 2015). Asimismo, retracciones de ciertas especies en altitudes inferiores y latitudes meridionales podrían ir acompañadas de expansiones de otras especies en los límites altitudinales superiores y latitudinales septentrionales, sobre todo de especies de la fachada atlántica (López-Sánchez *et al.*, 2021). Además, especies con un hábitat más amplio, como *Q. ilex*, podrían verse menos afectadas o incluso favorecidas bajo las condiciones climáticas futuras (Bastias *et al.*, 2025).

Para afrontar esta vulnerabilidad, debemos tener en cuenta la alta plasticidad funcional de los bosques mediterráneos frente al cambio climático y su rápida capacidad de respuesta frente a perturbaciones importantes como incendios forestales y sequías (Matesanz & Valladares, 2014). Además, la aplicación de un manejo forestal adaptativo frente al cambio climático puede ayudar a paliar la disminución de la productividad de los bosques a consecuencia del cambio climático (Astigarraga *et al.*, 2020; Bravo *et al.*, 2017; Keenan, 2015; Ruiz-Peinado *et al.*, 2017), como así lo demuestran las predicciones de la productividad a futuro que incluyen el manejo forestal en sus modelos (Pilli *et al.*, 2022). Estas técnicas de manejo deberían priorizar los bosques mixtos frente a los monoespecíficos (Rodríguez de Prado *et al.*, 2023), con rodales más abiertos, para disminuir la competencia entre especies y fomentar la diversidad. Estas medidas, que podrían reducir a corto plazo la capacidad de absorción de carbono, mejorarían la productividad a largo plazo, ayudando también a reducir el riesgo de incendios forestales (Adame *et al.*, 2020), mejorar la biodiversidad de los bosques (Ammer,

2019; Liang *et al.*, 2016) y favorecer el resto de los servicios ecosistémicos que ofrecen los sistemas forestales (Roces-Díaz *et al.*, 2021).

Por otra parte, también existen factores de vulnerabilidad social asociados a este riesgo, pues el despoblamiento y empobrecimiento de las zonas rurales están modificando significativamente la estructura y composición de los ecosistemas mediterráneos (Plieninger *et al.*, 2014). Esta situación podría dificultar la implementación de una gestión forestal adecuada, necesaria para mejorar la productividad de los bosques en el futuro.

Impactos del riesgo

Los principales impactos que se identifican son:

- Reducción general de la productividad y la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los ecosistemas forestales debido al aumento de la aridez (Tijerín-Triviño *et al.*, 2025; Vayreda *et al.*, 2015), tanto a medio (2040-2070) como a largo plazo (2071-2100) (Morán-Ordóñez *et al.*, 2021), siendo esta reducción más pronunciada en los escenarios con mayores emisiones (Rodríguez de Prado *et al.*, 2023). Sin embargo, los modelos que incluyen el manejo forestal proyectan una productividad estable en coníferas e incluso un aumento de la productividad en frondosas para la región mediterránea tanto a medio (2041-2050) como a largo plazo (2091-2100) (Pilli *et al.*, 2022) (**Figura 7**).

- Reducción más acusada de la productividad y la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono en especies caducifolias eurosiberianas situadas en el límite meridional de su distribución y en especies de montaña (Morán-Ordóñez *et al.*, 2021; Tijerín-Triviño *et al.*, 2025; Vayreda *et al.*, 2015), esto es, zonas húmedas del norte y noroeste peninsular, puesto que las condiciones climáticas extremas, como sequías severas u olas de calor, podrían llevar a estas especies más allá de sus límites ecofisiológicos (Hartmann *et al.*, 2022). La reducción de la productividad en bosques del sur peninsular podría llegar al 7 % para 2060 y al 16 % para 2100 bajo un escenario muy severo (Herraiz *et al.*, 2023).

- Afección negativa a otros componentes dentro del sector forestal, como la estructura y composición de los bosques, estrechamente vinculados con la productividad (Lecina-Diaz *et al.*, 2018), así como a la calidad del suelo y a procesos como la erosión del suelo y la desertificación (Zuazo & Pleguezuelo, 2009). Por el contrario, la disminución de la productividad podría tener un efecto positivo en términos de reducción del riesgo de incendios forestales, al disminuir la carga de combustible y romper la continuidad vertical y horizontal de dichos combustibles (Rego *et al.*, 2021).

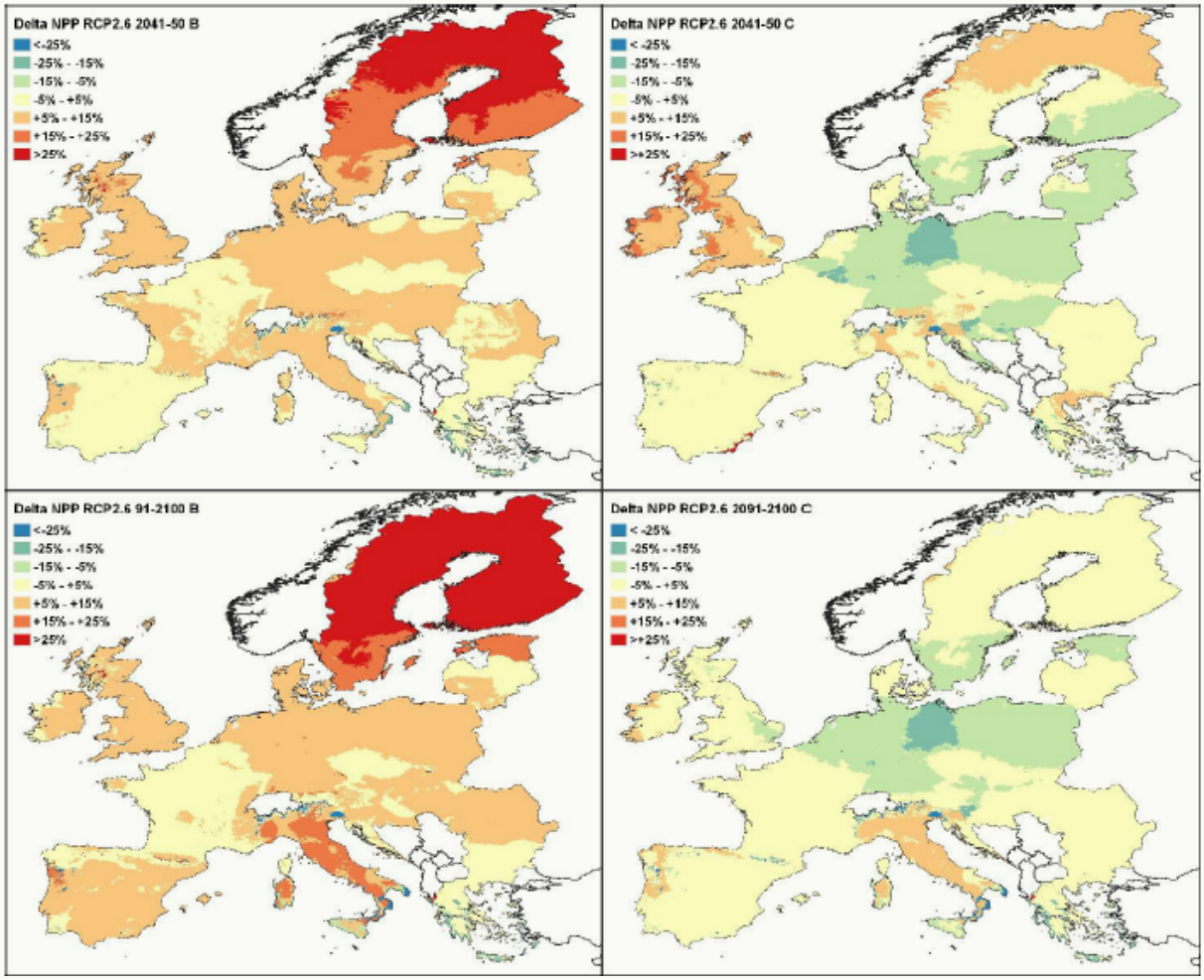


Figura 7. Variación relativa de la productividad primaria neta (PPN) debida al cambio climático con gestión forestal para especies de hoja ancha (B, paneles izquierdos) o coníferas (C, paneles derechos). La variación relativa se ha estimado como la diferencia del porcentaje promedio entre la PPN del periodo de referencia y la PPN promedio estimada para cuatro modelos climáticos en el escenario RCP2.6 para el medio plazo (2041-2050, paneles superiores) y el largo plazo (2091-2100, paneles inferiores). Fuente: Pilli et al., 2022.

- Afección negativa sobre otros sectores, como el patrimonio natural, que se podría ver afectado por una pérdida de biodiversidad en los bosques (Ammer, 2019; Liang *et al.*, 2016), o una degradación de los servicios ecosistémicos que estos proporcionan (Morán-Ordóñez *et al.*, 2021). También podría verse afectado el sector del turismo, debido a la pérdida de atractivo recreativo de estos entornos naturales (Hall *et al.*, 2011), así como la cohesión social, a consecuencia de la degradación de los medios de vida y de subsistencia de aquellas personas que trabajan en el sector forestal y en el ámbito rural (MITECO, 2020).

El resumen del análisis completo del riesgo se puede consultar con detalle en la **Ficha 2**.

Ficha 2. Análisis del riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial	Sustancial	Crítica
	En los últimos años ya se está observando un efecto negativo general sobre la productividad y la capacidad de almacenamiento de carbono en los bosques de España (González Díaz et al., 2020; MITECO, 2024b), más acusado en las zonas húmedas del norte y noroeste peninsular y en las zonas de montaña dominadas por especies eurosiberianas situadas en el límite meridional de su distribución (Tijerín-Triviño et al., 2025; Vayreda et al., 2015).	El cambio climático provocará una disminución general de la productividad y la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques (Reyer et al., 2014; Vayreda et al., 2015), tanto a medio (2040-2070) como a largo plazo (2071-2100) (Morán-Ordóñez et al., 2021). Sin embargo, aquellas masas forestales con un manejo forestal adecuado podrían mantener una productividad estable en coníferas e incluso aumentar en frondosas tanto a medio (2041-2050) como a largo plazo (2091-2100) (Pilli et al., 2022).	La reducción de la productividad y la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques será mayor si el umbral de calentamiento supera los 2 °C. Las especies caducifolias eurosiberianas situadas en el límite meridional de su distribución (p. ej. Fagus sylvatica o Castanea sativa) y las especies de montaña (p. ej. P. sylvestris) serán las más amenazadas por el cambio climático (Morán-Ordóñez et al., 2021).	La reducción de la productividad y la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques será mayor en los escenarios con mayores emisiones y temperaturas (Rodríguez de Prado et al., 2023). Las especies caducifolias eurosiberianas situadas en el límite meridional de su distribución (p. ej. Fagus sylvatica o Castanea sativa) y las especies de montaña (p. ej. P. sylvestris) podrían verse especialmente amenazadas (Morán-Ordóñez et al., 2021).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Medio	· Media · Bajo	· Media · Bajo	· Media · Bajo
	Calidad académica alta, con metodologías robustas basadas en datos cuantitativos. Consenso entre estudios medio, pues, aunque existe un consenso generalizado en una disminución de la productividad debida al cambio climático, no existe unanimidad sobre la magnitud de dichos cambios entre los estudios consultados.	Calidad media, pues las proyecciones futuras realizadas bajo supuestos estacionarios, que no tienen en cuenta que las relaciones entre el clima y la productividad del bosque cambian a lo largo del tiempo, podrían presentar ciertas limitaciones (Astigarraga et al., 2020). Consenso bajo, pues existen aún pocos estudios que modelen la productividad y el almacenamiento de carbono de los bosques bajo distintos escenarios de cambio, y sus resultados son dispares (p. ej. Pilli et al., 2022 vs. Reyer et al., 2014) lo que no permite establecer un consenso claro.	Calidad media, pues las proyecciones futuras realizadas bajo supuestos estacionarios, que no tienen en cuenta que las relaciones entre el clima y la productividad del bosque cambian a lo largo del tiempo, podrían presentar ciertas limitaciones (Astigarraga et al., 2020). Consenso bajo, pues existen aún pocos estudios que modelen la productividad y el almacenamiento de carbono de los bosques bajo distintos escenarios de cambio, y sus resultados son dispares (p. ej. Pilli et al., 2022 vs. Reyer et al., 2014), lo que no permite establecer un consenso claro.	Calidad media, pues las proyecciones futuras realizadas bajo supuestos estacionarios, que no tienen en cuenta que las relaciones entre el clima y la productividad del bosque cambian a lo largo del tiempo, podrían presentar ciertas limitaciones (Astigarraga et al., 2020). Consenso bajo, pues existen aún pocos estudios que modelicen la productividad y el almacenamiento de carbono de los bosques mediterráneos bajo distintos escenarios de cambio climático, y sus resultados son dispares (p. ej. Pilli et al., 2022 vs. Reyer et al., 2014), lo que no permite establecer un consenso claro.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	El peligro principal proviene del incremento de las condiciones de aridez, resultado del aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones. Si esta tendencia se intensifica, el efecto fertilizador del aumento de CO2 atmosférico no será suficiente para compensar sus impactos negativos (Balzan et al., 2020; Keenan, 2015; Norby et al., 2010). Además, el aumento en la frecuencia y severidad de las olas de calor y las sequías extremas hará que los bosques sean más proclives a incendios forestales o al ataque de plagas, perturbaciones que pueden disminuir drásticamente su productividad (Lecina-Diaz et al., 2021; Peñuelas & Sardans, 2021).	Exposición ecológica: • Formaciones forestales naturales. • Plantaciones forestales. • Servicios ecosistémicos materiales y de regulación. Exposición social: • Personas empleadas en el sector forestal. • Servicios ecosistémicos no materiales.	Susceptibilidad ecológica: • Límites ecofisiológicos de las especies. • Plantaciones homogéneas. Susceptibilidad social: • Despoblamiento de zonas rurales. • Presión recreativa. Cap. afrontamiento ecológico: • Plasticidad funcional de las especies. • Regeneración posperturbación. Cap. afrontamiento social: • Planes de gestión forestal. • Políticas de protección de la naturaleza.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La disminución de la productividad puede afectar a los servicios ecosistémicos que los bosques proveen (Balzan et al., 2020; Peñuelas et al., 2017), entre los que se encuentran las actividades recreativas y el turismo, nacional o extranjero, y su capacidad de controlar el clima.
Territoriales	Todo el territorio español se ve afectado por este riesgo, aunque puede ser más acusado en las zonas húmedas del norte y noroeste peninsular y en las zonas de montaña dominadas por especies eurosiberianas situadas en el límite meridional de su distribución (Morán-Ordóñez et al., 2021; Reyer et al., 2014; Tijerín-Triviño et al., 2025; Vayreda et al., 2015).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Sociales	Se estima que decenas de miles de personas empleadas en el sector forestal podrían verse directamente afectadas por la pérdida de productividad de los bosques (MITECO, 2020). No obstante, al ser el almacenamiento de carbono un servicio ecosistémico clave en la lucha contra el cambio climático (Balzan et al., 2020), el número de afectados de manera indirecta podría ser mucho mayor.
Maladaptación	Dado que los bosques fijan carbono, es frecuente que muchos programas de mitigación del cambio climático contemplen reforestaciones masivas monoespecíficas, que pueden derivar a medio y largo plazo en una pérdida mayor de productividad y carbono (Rodríguez de Prado et al., 2023), además de pérdidas debidas a la ocurrencia de incendios forestales y plagas.
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género en relación con este riesgo.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Las relaciones entre la productividad y la temperatura o la precipitación no son lineales, por lo que resulta complejo establecer un umbral crítico a partir del cual la magnitud del riesgo aumenta exponencialmente, aunque precipitaciones por debajo de los 300 mm anuales hacen que las formaciones boscosas se simplifiquen hacia matorrales esclerófilos o incluso estepas arbustivas (Walter & Breckle, 2013). Además, si los eventos climáticos extremos se agravan (p. ej. sequía, olas de calor extremo) y los bosques son sometidos a una mala gestión o sobreexplotación, pueden disminuir significativamente su productividad (Boisvenue & Running, 2006) e incluso pasar de ser un sumidero a una fuente de emisión neta de carbono (Ciais et al., 2005; Peñuelas et al., 2017).
Lock-in/Bloqueo	Una situación de bloqueo podría darse en el caso de reforestaciones que buscan aumentar la capacidad de almacenamiento de carbono, pero que pueden derivar en una pérdida de biodiversidad, una mayor peligrosidad de los paisajes frente a los incendios, mayor susceptibilidad frente a plagas y enfermedades (especialmente si son monocultivos) y por tanto una disminución aún más acusada de la productividad. También podría darse una situación de bloqueo en caso de demandas de madera que no se pueden cumplir, ya que una mayor extracción supondría a su vez una mayor caída de la productividad.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel nacional: • Plan Forestal Español 2022-2032 • Estrategia Forestal Española horizonte 2050 A nivel autonómico/local: • Planes específicos • Un ejemplo de proyecto reciente que incluye este tipo de medidas de gestión del riesgo sería el Proyecto LIFE Forest CO2 (LIFE FOREST CO2).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	En España, las comunidades autónomas tienen la competencia principal en materia de gestión forestal, lo que incluye la planificación forestal y gestión del combustible, así como un operativo forestal y un cuerpo de agentes medioambientales propio. El Estado tiene competencias complementarias, de coordinación y apoyo, recogidas principalmente en la Ley 43/2003 de Montes, las cuales se llevan a cabo a través del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación futuras se basan en la adopción de un modelo de gestión forestal adaptativo frente al cambio climático, que prime los bosques mixtos frente a los monoespecíficos, con rodales más abiertos para disminuir la competencia y fomentar la diversidad de especies. Estas medidas ayudarán a reducir el riesgo de incendios forestales (Adame et al., 2020), mejorarán la biodiversidad de los bosques (Ammer, 2019; Liang et al., 2016) y favorecerán el resto de los servicios que ofrecen los ecosistemas forestales (Roces-Díaz et al., 2021).
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Negativo, debido a la disminución de la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Positivo, pues una descarbonización supondría frenar el cambio climático y con ello el factor principal que lo promueve.
Déficits de información	El principal déficit de información relacionado con este riesgo se basa en la escasez de estudios científicos que describan de manera precisa la evolución del riesgo en el futuro frente a escenarios concretos de cambio climático en ventanas temporales acotadas (p. ej. Herraiz et al., 2023; Morán-Ordóñez et al., 2021; Rodríguez de Prado et al., 2023). Además, muchos de los modelos son estacionarios y no tienen en cuenta que las relaciones entre el clima y la productividad del bosque cambian a lo largo del tiempo (Astigarraga et al., 2020) o no tienen en cuenta la gestión forestal (Pilli et al., 2022). Además, existen algunas incertidumbres sobre las predicciones a futuro, como, por ejemplo, el efecto del aumento de la concentración del CO2 sobre el estado nutricional de los bosques, o las propias tendencias de la precipitación en la zona mediterránea (Peñuelas et al., 2020; Vicente-Serrano et al., 2025).
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

5.4. RC4.4 Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales

Introducción al riesgo

En este capítulo, la desertificación se define como la degradación de las tierras secas, esto es, de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, debido a múltiples factores, incluidas las variaciones climáticas y las actividades humanas (Mirzabaev *et al.*, 2019). Por otro lado, la degradación de la tierra es un peligro socioambiental complejo que se refiere a una tendencia negativa en la condición del suelo causada por procesos concurrentes, inducidos directa o indirectamente por el ser humano, incluyendo el cambio climático antropogénico, y se expresa como una reducción o pérdida a largo plazo de al menos uno de los siguientes aspectos: productividad biológica, integridad ecológica o valor para los seres humanos (Olsson *et al.*, 2019). Los principales procesos que causan esta degradación incluyen la erosión (por agua o viento), la salinización, la compactación, la pérdida de materia orgánica, la contaminación química y el sellado del suelo, entre otros. Así, la diferencia entre desertificación y degradación de la tierra no se basa en el proceso, sino en la ubicación geográfica derivada del clima dominante. Aunque la degradación de la tierra puede ocurrir en cualquier punto de la geografía, cuando ocurre en tierras secas se considera desertificación. Este riesgo ya ha tenido una aproximación parcial en RC 4.2 (Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo de los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema) con énfasis en suelos forestales.

En España, el abandono de tierras agrícolas ha promovido procesos de sucesión ecológica que han incrementado la cobertura vegetal y mejorado la calidad del suelo, reduciendo así el riesgo de desertificación o degradación de la tierra. Estudios en el interior del área mediterránea señalan que la expansión forestal en las tierras abandonadas, aunque con capacidad de secuestro de carbono moderada, constituye un sumidero significativo de CO_2 y mejora la estructura del suelo, especialmente de la biomasa subterránea (Alías *et al.*, 2022; Velázquez *et al.*, 2022). Del mismo modo, las repoblaciones forestales mejoran la fertilidad edáfica y el contenido de carbono orgánico (Fernández-Ondoño *et al.*, 2010). La regeneración natural con manejo adecuado aumenta el carbono orgánico del suelo y estabiliza los suelos degradados (Lasanta *et al.*, 2021).

En contraste, los suelos agrícolas intensivos en España muestran una pérdida acelerada de carbono orgánico por prácticas convencionales, compactación y erosión, lo que incrementa el riesgo de degradación de la tierra (Díaz-Martínez *et al.*, 2024). Así, en zonas áridas del país se confirma además que el cambio climático exacerba la pérdida de carbono orgánico asociado, acelerando la degradación del suelo. De hecho, la erosión origina pérdidas de aproximadamente 30 t ha^{-1} $año^{-1}$ en suelos agrícolas, triplicando la tasa de erosión de los terrenos forestales y superando con creces el límite de tolerancia (2–3 t ha^{-1} $año^{-1}$) (MITECO, 2022c; Rojo Serrano *et al.*, 2022).

Su consideración como riesgo clave se basa fundamentalmente en su elevado alcance en términos de extensión y en el hecho de que sus impactos ya se están empezando a producir y continuarán aumentando a corto plazo. El 20 % del territorio nacional está degradado y un 1 % adicional se encuentra en proceso activo de degradación (Martínez-Valderrama *et al.*, 2022; Martínez-Valderrama *et al.*, 2016). Alrededor del 74 % del territorio español se corresponde con zonas áridas, semiáridas o subhúmedas secas, por lo que está en riesgo de desertificación, de las cuales el 18 % se encuentra en riesgo «alto» o «muy alto» y el 19 % en riesgo «medio» (MARM, 2008). Esta situación afecta sobre todo a zonas tradicionalmente agrícolas de la mitad sur peninsular. A modo de ejemplo, uno de los principales motores de la desertificación/degradación de la tierra (DS/DT en adelante) como consecuencia del cambio climático es la aridificación del clima que se está observando, cruzando en algunos casos umbrales que hacen que se produzcan cambios en DS/DT no reversibles a medio o corto plazo (Berdugo *et al.*, 2020; Berdugo *et al.*, 2022; Carvalho *et al.*, 2022).

Se calcula que, en base a doce procesos de degradación (erosión hídrica, erosión eólica, pérdida de carbono orgánico del suelo, salinización del suelo, acidificación del suelo, compactación del suelo, desequilibrios de nutrientes del suelo, contaminación del suelo por pesticidas, contaminación del suelo por metales pesados, degradación de la vegetación, disminución del nivel freático y aridez), hasta un 37 %, 20 % y 10 % de las tierras agrícolas (242.902 km^2) son clasificables en un grado medio, alto o muy alto de degradación, respectivamente (Prăvălie et al., 2024). La **Figura 8** esquematiza los componentes del riesgo de DS/DT y sus impactos.

La cadena de impacto: peligro, exposición y vulnerabilidad

El cambio climático está intensificando el peligro climático (Carvalho *et al.*, 2022) (**Figura 9**), lo que representa una amenaza directa para la productividad de los ecosistemas terrestres y la sostenibilidad de sus suelos, particularmente en regiones áridas y semiáridas. Entre los principales factores destacan el aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos, con lluvias torrenciales o sequías prolongadas, el incremento de la duración e intensidad de

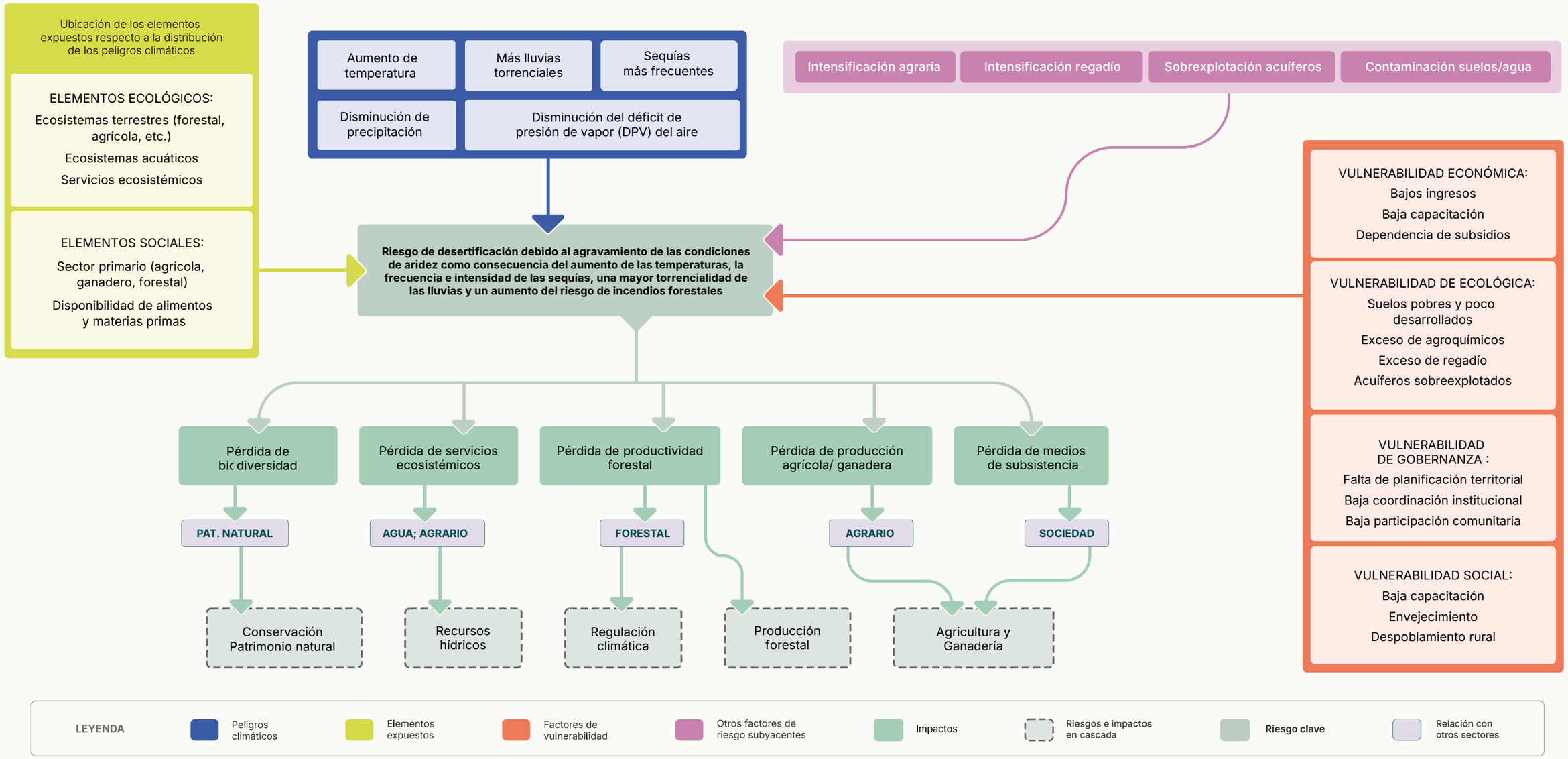


Figura 8. Cadena de impacto del riesgo de desertificación (DS/DT) debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.

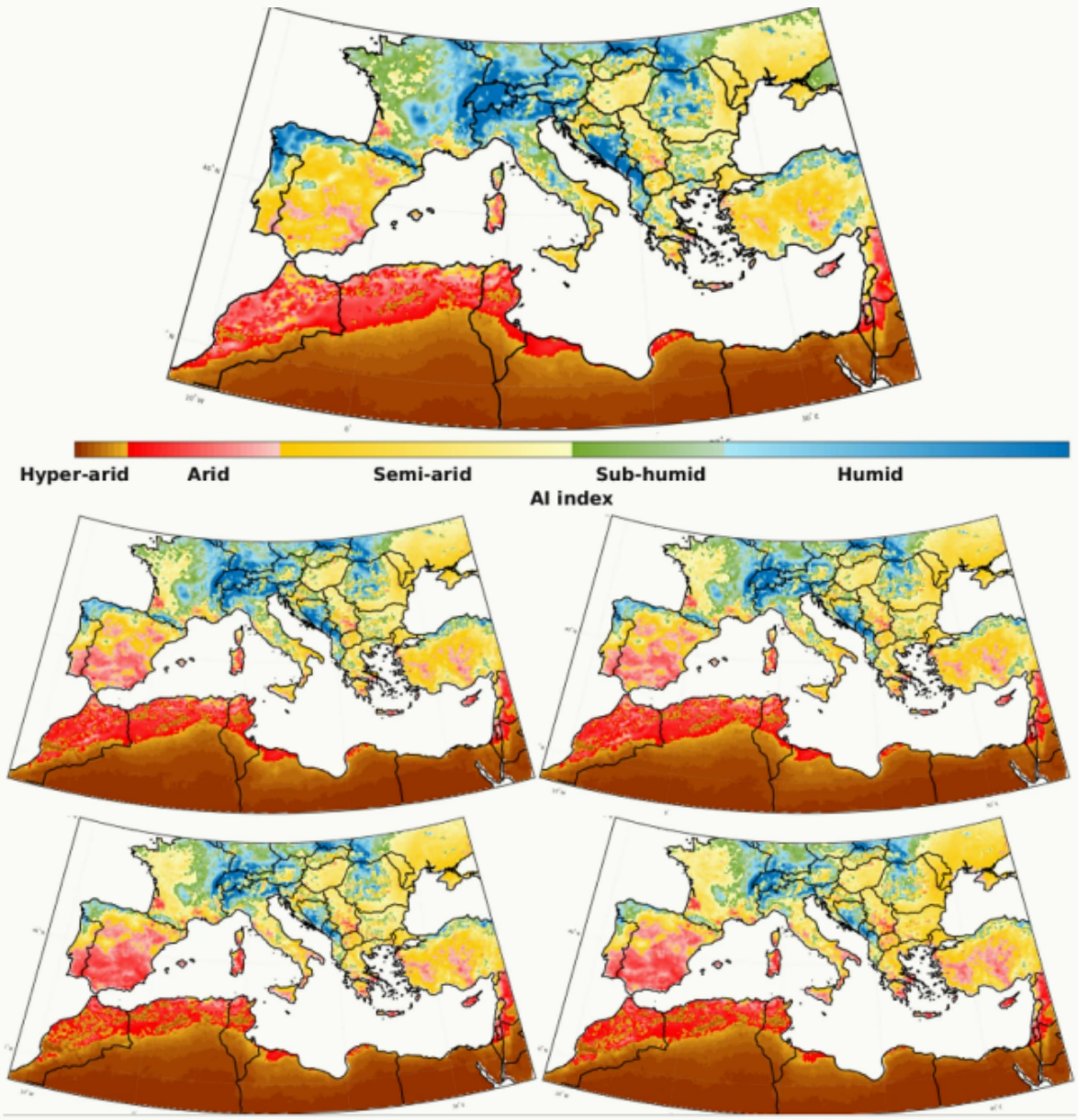


Figura 9. Índice de aridez del periodo base (1986–2005, panel superior), a medio plazo (2046–2065, paneles izquierdos) y a largo plazo (2081–2100, paneles derechos) para climas futuros basados en los escenarios RCP4.5 (paneles intermedios) y RCP8.5 (paneles inferiores). Fuente: Carvalho et al., 2022.

las olas de calor y la sequedad del aire (disminución de la presión de vapor) (Azzopardi *et al.*, 2020). Estas limitaciones climáticas, unidas a la intensa actividad humana (agricultura, pastoreo, deforestación, entre otras), han ido provocando la desertificación y degradación de la tierra, especialmente en la región mediterránea (Beguería *et al.*, 2025; Olsson *et al.*, 2019; Prăvălie *et al.*, 2024).

En cuanto a la exposición del riesgo, los principales elementos expuestos son los ecosistemas terrestres (forestales, herbáceos, agrícolas, etc.) y los servicios ecosistémicos que estos proporcionan, ya sean bienes materiales (madera, biomasa para energía, fibra, etc.), inmateriales (salud física y psicológica, ocio y recreación, etc.) o servicios de regulación (control del clima y la calidad del aire, regulación del ciclo hidrológico, protección del suelo, etc.) (IPBES, 2017). El 38,8 % del territorio nacional está cubierto por superficie forestal, el 32,8 % por tierras de cultivo y el 13,3 % por pastizales. Los cultivos herbáceos y leñosos suponían el 27,8 % en 2022. El 80,7 % de la superficie de cultivo en España se encuentra en Andalucía, las dos Castillas, Aragón y Extremadura (MAPA, 2024). Los ecosistemas acuáticos también pueden verse expuestos al riesgo de desertificación y degradación de la tierra (DS/DT), debido a procesos como la erosión, que se ven acelerados por el cambio climático (Flor-Blanco *et al.*, 2021), por la sobreexplotación de acuíferos (Parra *et al.*, 2021) o por la contaminación (Oduor *et al.*, 2023), entre otros. Del mismo modo se vería afectado el elevado número de servicios ecosistémicos que estos proporcionan, entre los que se encuentran la reposición de aguas subterráneas, la protección frente a inundaciones, la retención de nutrientes y la biodiversidad (Estrela-Segrelles *et al.*, 2021).

Además, se ven expuestas a este riesgo las personas que directa o indirectamente viven de los ecosistemas susceptibles de sufrir DS/DT. Esto incluye a las decenas de miles de personas empleadas en el sector forestal, que podrían verse afectadas, aunque de forma desigual, toda vez que el proceso no afecta por igual a todas las zonas (MITECO, 2020). Además, este riesgo afecta de forma indirecta a la población con escasez de agua, en particular para la agricultura. Para los productores primarios conlleva afecciones socioeconómicas altas. Para la población general, el impacto del riesgo se ve reflejado de forma indirecta sobre la disponibilidad de alimentos y su precio, lo que afectará de forma desigual a la población según su vulnerabilidad socioeconómica (Freitas *et al.*, 2024; IPCC, 2019). A su vez, una mayor aridificación se asocia a un menor volumen de crédito para las empresas. Al mismo tiempo, el efecto de la aridez sobre el crédito varía por sectores y depende de la zona climática (Broto & Hubert, 2025).

La vulnerabilidad al riesgo de DS/DT depende de la interacción entre factores ecológicos y sociales y varía según su sensibilidad y capacidad de afrontamiento. Los ecosistemas frágiles son particularmente propensos a la desertificación cuando presentan características físicas y climáticas, como:

- **Zonas áridas y semiáridas:** estas regiones presentan baja disponibilidad hídrica y alta variabilidad climática, lo que favorece los procesos de degradación y limita la resiliencia natural del ecosistema (Reynolds *et al.*, 2007).

- **Suelos poco desarrollados y pobres:** Debido a su escasa profundidad, baja fertilidad y limitada capacidad de retención de agua, estos suelos presentan una alta vulnerabilidad a la

erosión y al deterioro de su funcionalidad productiva ante presiones naturales o antrópicas (FAO-GTIS, 2016).

- **Topografía con pendientes pronunciadas:** Las laderas facilitan la escorrentía superficial y la pérdida de suelo fértil, especialmente en ausencia de cobertura vegetal adecuada (Morgan, 2009).

- **Mayor riesgo de incendios:** En zonas con estrés hídrico, los incendios forestales tienden a ser más frecuentes y severos, destruyendo la vegetación protectora del suelo y agravando su degradación (ver el riesgo complejo RC.4.5).

Las actividades humanas también desempeñan un papel central en el avance de la DS/DT a través de:

- **Deforestación:** La eliminación de coberturas forestales disminuye la capacidad del suelo para retener agua, expone las capas fértiles a la erosión y altera el microclima local (Bruijnzeel, 2004).

- **Sobrepastoreo:** El pastoreo intensivo reduce la cobertura vegetal, compacta el suelo y dificulta su regeneración natural, lo que acelera los procesos de degradación (Dregne, 2002).

- **Prácticas agrarias intensivas:** La agricultura sin manejo adecuado del suelo y del agua agota los nutrientes, incrementa la salinización y deteriora la estructura del suelo (Lal, 2001).

- **Sobreexplotación del agua:** La explotación excesiva de acuíferos y el desvío de cauces naturales reducen la disponibilidad hídrica para los ecosistemas, alterando su equilibrio funcional (Gleick, 2003).

La capacidad del ecosistema para resistir y recuperarse de la degradación determina en gran parte su vulnerabilidad (Millennium Ecosystem Assessment Board, 2005). Así, por ejemplo, ecosistemas con especies vegetales de crecimiento lento o alta especialización tienen menor capacidad de recuperación frente a las perturbaciones (Capdevila *et al.*, 2022). Además, la falta de técnicas de conservación del suelo, reforestación o control de erosión agrava la exposición de los ecosistemas a procesos de DS/DT (Kimmell *et al.*, 2023). Por otro lado, la capacidad social para responder y adaptarse a la amenaza de degradación del suelo es crítica (UNCCD, 2017). Sin inversiones adecuadas en prácticas sostenibles y tecnologías de conservación, la implementación de estrategias eficaces se ve limitada. Ello requiere instituciones que promuevan activamente la gestión sostenible de la tierra, incluyendo incentivos, fiscalización y apoyo técnico.

Impactos del riesgo

Este riesgo tiene un gran potencial de producir efectos en cascada, tanto en el sector forestal (alteraciones en funcionalidad y estructura forestal, pérdida de diversidad y productividad, erosión y degradación de suelos, etc.) (Peñuelas & Sardans, 2021), como en sectores como el patrimonio natural (pérdida de diversidad y servicios ecosistémicos), la agricultura (disminución de cosechas) (Rodríguez-Berbel *et al.*, 2022), pudiendo desencadenar la degradación de medios de vida y de subsistencia de ciertas poblaciones (Broto & Hubert, 2025; Olsson *et al.*, 2019).

La DS/DT ha reducido la productividad primaria (principalmente la agrícola) y los ingresos derivados de ella (Martínez-Valderrama *et al.*, 2022; Rodríguez-Berbel *et al.*, 2022), y ha contribuido a la pérdida de biodiversidad en algunos casos (Tariq et al., 2024; Zheng *et al.*, 2024; Phillips *et al.*, 2022). Procesos como la erosión del suelo, la salinización secundaria y el sobrepastoreo han impactado negativamente en los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, particularmente la producción de alimentos y forraje (Prajapati *et al.*, 2024). La DS/DT reduce la capa vegetal, lo que altera la superficie del suelo, afectando al albedo y al balance hídrico, y favorece la ocurrencia de erosión eólica (Martín-Rosales *et al.*, 2007; Ramírez-Juidias *et al.*, 2023; Rodrigues do Nascimento, 2023). La erosión (por agua y viento) es un proceso dominante de degradación de la tierra (García-Ruiz, 2010). Para 2050, la erosión del suelo en tierras agrícolas de la UE y el Reino Unido aumentará entre un 13 % y un 22,5 %, siendo el cambio climático (mayor erosividad de la lluvia) el principal impulsor (Panagos *et al.*, 2021).

La salinización es un proceso químico de degradación de la tierra particularmente importante en el contexto del cambio climático. En España, ya se han identificado zonas en peligro de salinización, especialmente en áreas de regadío y en algunas regiones costeras en las que el cambio climático puede agravar significativamente la concentración de sales en el suelo, comprometiendo la productividad agrícola y acelerando los procesos de degradación. De los aproximadamente 3,5 millones de hectáreas de tierras de regadío que hay en España, cerca del 3 % exhibe ya un potencial agrícola notablemente reducido por la acentuada salinización y un 15 % se encuentra en situación de riesgo (Daliakopoulos *et al.*, 2016).

La pérdida de materia orgánica del suelo (MOS) es otro proceso relevante de degradación química, acelerado por el cambio climático, con una liberación neta de carbono. Un suelo saludable puede secuestrar carbono de forma eficaz, pero cuando se degrada, el carbono orgánico almacenado se libera, aumentando aún más las emisiones de gases de efecto invernadero (Lugato, 2024). El carbono orgánico del suelo (COS) es un indicador adecuado de la calidad del suelo (Grilli *et al.*, 2021), ya que está funcionalmente vinculado a otras propiedades relevantes del suelo y de los servicios ecosistémicos que este presta. Se ha establecido como contenido crítico de COS (<20

g COS kg^{-1}) (2 %) a partir del cual podrían producirse cambios significativos en la calidad del suelo con pequeños cambios en la concentración de COS. A su vez, los cambios en la materia orgánica del suelo pueden afectar a la capacidad de retención de agua de los suelos (Rawls *et al.*, 2003). La reducción de la capacidad de retención de agua de los suelos degradados amplifica las inundaciones, refuerza los procesos de degradación a través de la erosión del suelo y reduce la entrada anual de agua a los acuíferos, exacerbando la escasez de agua existente (Owuor *et al.*, 2016). Diferentes tipos de degradación del suelo aumentan la escasez de agua, tanto en cantidad como en calidad. A su vez, la sobreextracción está llevando al agotamiento del agua subterránea (Rouhani *et al.*, 2025).

Se considera que el principal agente responsable de la DS/DT en España es la gestión insostenible de las tierras agrícolas, pero, como demuestran las tendencias de los cambios en el uso del suelo, la expansión urbana se ha convertido en el agente de desertificación más activo en España (Barbero-Sierra *et al.*, 2013).

Los impactos de la degradación de la tierra trascienden las dimensiones biofísicas o ecológicas, pues además tienen repercusiones sociales y económicas. Esto incluye el impacto en la seguridad alimentaria, el aumento de la pobreza, los conflictos o la migración (Olsson *et al.*, 2019). Así, por ejemplo, la disminución de la productividad agrícola puede llevar al abandono de tierras y a la migración de las comunidades rurales a las ciudades, buscando mejores oportunidades. Esto no solo afecta la estructura socioeconómica de las zonas rurales, sino que también supone presión adicional sobre las áreas urbanas (Barbero-Sierra *et al.*, 2013).

El resumen del análisis completo del riesgo se puede consultar con detalle en la **Ficha 3**.

Ficha 3. Análisis del riesgo de desertificación (DS/DT) debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial	Sustancial	Crítica
	Un 12 % de la España peninsular y las Islas Baleares ha experimentado una transición hacia categorías de aridez mayor entre 1961 y 2020. En Canarias, la transición hacia categorías más áridas ha afectado al 16 % del territorio (Beguería et al., 2025). El 20 % del territorio español está catalogado como en estado "Degradado", con valores de biomasa y productividad relativamente bajos. (Martínez-Valderrama et al., 2016). El 37 %, 20 % y 10 % de las tierras agrícolas (242.902 km²) están clasificadas con un grado medio, alto o muy alto de degradación de la tierra, respectivamente (Prăvălie et al., 2024).	Riesgo bajo a moderado en zonas sensibles, como el suroeste de España. (Huang et al., 2020). Impacto moderado pero significativo. Aumento notable de la aridez en la península ibérica, debido a una disminución de las precipitaciones y un aumento de la evapotranspiración potencial. Las zonas semiáridas del sureste de España podrían experimentar un avance de la desertificación, afectando la productividad del suelo y los ecosistemas locales (Carvalho et al., 2022).	El riesgo moderado se expande hacia el interior. Aumentan las zonas con alta vulnerabilidad. El 65 % de las áreas europeas en zonas secas presentan un incremento del índice de desertificación global, especialmente en el sur. En zonas agrícolas del sur de Europa, la combinación de mayor temperatura, sequías e intensidad de uso del suelo acelera la degradación (Huang et al., 2020). Se espera una disminución significativa del balance hídrico, especialmente en el sur de la península ibérica, lo que agravaría la escasez de agua para la agricultura y el consumo humano. Pérdida de carbono orgánico en suelos: Por cada grado de aumento de temperatura, se estima una pérdida del 6-7 % de carbono orgánico en los suelos, lo que deteriora su fertilidad y estructura (Carvalho et al., 2022).	España presenta una elevada transición a categorías de alto o muy alto riesgo. Las áreas de riesgo bajo disminuyen del 47 % al 24 % a nivel global. El cambio es impulsado por el aumento de temperatura. Reducción del índice de aridez (aumento de aridez). Incremento de presión humana (uso del suelo, urbanización, agricultura intensiva) (Huang et al., 2020). Riesgo de degradación irreversible. Amplias zonas del sur y sureste de España podrían volverse impracticables para la agricultura tradicional, debido a la pérdida de fertilidad del suelo y la escasez de agua. La combinación de altas temperaturas, sequías prolongadas y pérdida de vegetación podría llevar al colapso de ecosistemas locales, afectando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Carvalho et al., 2022).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio
	Respaldado por metodología robusta, métodos estadísticos apropiados y una alineación con las prácticas estándar en la investigación climática.	Metodología robusta y validación cruzada. Uso de modelos climáticos reconocidos. El uso de un promedio de múltiples modelos ayuda a reducir la incertidumbre inherente a las proyecciones climáticas. Existe consenso entre modelos climáticos regionales (EURO-CORDEX). Pero también se reconoce una incertidumbre creciente en escenarios de altas emisiones (como RCP8.5, equivalente a +4 °C), especialmente en cuanto a diferencias regionales y variabilidad.	Las previsiones no dinámicas del sector reducen la confianza en los datos. Existe consenso entre modelos climáticos regionales (EURO-CORDEX). Pero también se reconoce una incertidumbre creciente en escenarios de altas emisiones (como RCP8.5, equivalente a +4 °C), especialmente en cuanto a diferencias regionales y variabilidad.	Aunque hay alta robustez en la señal de aumento de aridez y riesgo de desertificación, las magnitudes específicas y los impactos locales precisos tienen más incertidumbre (Carvalho et al., 2022). Esta incertidumbre no invalida los resultados, pero sí refuerza la necesidad de enfoques preventivos y de adaptación localizados. Existe consenso entre modelos climáticos regionales (EURO-CORDEX). Pero también se reconoce una incertidumbre creciente en escenarios de altas emisiones (como RCP8.5, equivalente a +4 °C), especialmente en cuanto a diferencias regionales y variabilidad.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Los principales componentes del peligro asociados al riesgo de desertificación y degradación de la tierra están asociadas tanto a factores naturales como humanos entre los que destacan: • Aumento de las temperaturas, alteraciones en los patrones de precipitación, incremento de la evapotranspiración y disminución de las precipitaciones, aumento de los eventos climáticos extremos que intensifican la aridez y la erosión del suelo, lo que contribuyen a la degradación de la tierra. • Procesos de degradación de la tierra como erosión hídrica y eólica, salinización, pérdida de carbono orgánico del suelo y reducción de la fertilidad. • Prácticas de uso de la tierra insostenibles: deforestación, sobrepastoreo, agricultura intensiva sin medidas de conservación y expansión urbana descontrolada que degradan la cubierta vegetal y la estructura del suelo. • Incendios forestales: Aumento en la frecuencia e intensidad de incendios que destruyen la vegetación protectora y dejan el suelo expuesto a la erosión. • Extracción excesiva de recursos hídricos: Sobreexplotación de acuíferos y desvío de cursos de agua que reducen la disponibilidad de agua para la vegetación y los ecosistemas.	Los factores de exposición destacados son: • Ubicación geográfica: Regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas son más propensas a la desertificación debido a su clima y características del suelo. • Dependencia de recursos naturales: Comunidades que dependen directamente de la agricultura, ganadería o recursos forestales están más expuestas a los efectos de la degradación de la tierra. • Densidad poblacional: áreas con alta concentración de población pueden ejercer mayor presión sobre los recursos naturales.	Susceptibilidad ecológica: • Suelos poco desarrollados. • Suelos pobres. • Zonas áridas y semiáridas. • Topografía (pendientes). • Mayor riesgo de incendios. Susceptibilidad social: • Deforestación. • Sobrepastoreo. • Prácticas agrarias intensivas. • Sobreexplotación del agua. Capacidad de afrontamiento ecológico: • Modo y tiempo de regeneración vegetal. Capacidad de afrontamiento social: • Disponibilidad de recursos financieros, tecnológicos y humanos para implementar prácticas de manejo sostenible y adaptarse a las condiciones cambiantes. • Existencia y eficacia de políticas públicas, marcos legales e instituciones que promuevan la gestión sostenible de la tierra y la mitigación de la desertificación. • Falta de implementación de estrategias de gestión sostenible de la tierra.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Migraciones internas y externas: La pérdida de productividad del suelo y de medios de vida (especialmente en zonas agrícolas y rurales del sur y sureste de España) puede generar despoblamiento rural, dando lugar a desplazamientos de población hacia otras regiones más fértiles o urbanizadas, e incluso hacia otros países de la UE. Pérdida de biodiversidad con impactos regionales: La degradación de la tierra y la desertificación pueden llevar a la pérdida de hábitats únicos y especies endémicas, algunas de las cuales forman parte de corredores ecológicos transnacionales. Esto comprometería objetivos comunes de la UE en conservación de la biodiversidad (Red Natura 2000). Impactos en la seguridad alimentaria europea: España es un productor agrícola clave en Europa (frutas, hortalizas, aceite de oliva, vino). La degradación de las tierras fértiles puede afectar a la oferta de estos productos en el mercado europeo. Se incrementaría la dependencia de importaciones extracomunitarias, con implicaciones económicas y estratégicas. Obligaciones legales e institucionales: España está sujeta a compromisos internacionales (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación - UNCCD, Directiva Marco del Agua de la UE, Green Deal). El incumplimiento o la mala gestión de estos compromisos puede afectar la cooperación internacional y conllevar sanciones o restricciones.
Territoriales	Desigualdades territoriales crecientes: Las regiones más afectadas por la desertificación se concentran en el sureste peninsular (Andalucía, Murcia, Comunidad Valenciana, Castilla-La Mancha) y Canarias. Esto refuerza la brecha territorial entre zonas con suelos más fértiles y capacidad de desarrollo económico (norte y noroeste) y otras en riesgo ambiental (sur y este). Impacto en ecosistemas y corredores ecológicos: La desertificación interrumpe conectividades ecológicas clave, lo que debilita la resiliencia ambiental a nivel territorial. Amenaza a espacios protegidos que son nodos fundamentales de la Red Natura 2000 y de los planes de restauración ecológica. Gestión del agua: El territorio sufre una presión creciente sobre los recursos hídricos, especialmente en cuencas como las del Segura, Júcar o Guadalquivir. Se intensifican los conflictos por el uso del agua entre comunidades autónomas y sectores (agrícola, turístico, urbano). Proyectos como trasvases o infraestructuras hidráulicas tienen un fuerte componente territorial y político.
Sociales	Adicionalmente, el riesgo de abandono rural en zonas degradadas y la concentración poblacional en áreas urbanas. La degradación de la tierra mina el potencial de actividades económicas como la agricultura, la ganadería extensiva o el ecoturismo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	Agricultura intensiva e insostenible: Uso excesivo de agua para riego en zonas áridas o secas (por ejemplo, cultivos de regadío en Murcia, Almería o la Mancha Oriental), provoca sobreexplotación de acuíferos, lo que puede poner en peligro ecosistemas sensibles que dependen en gran medida de las masas de agua subterránea, como los presentes en los parques nacionales de las Tablas de Daimiel o Doñana, así como provocar la salinización del suelo. Los monocultivos reducen la biodiversidad del suelo y aumentan la erosión. El uso intensivo de agroquímicos degrada la fertilidad del suelo y contamina aguas subterráneas. Expansión urbana y turística en zonas vulnerables: Urbanización descontrolada en áreas costeras y semiáridas, especialmente en el litoral mediterráneo, conlleva impermeabilización del suelo, pérdida de terreno fértil y fragmentación del territorio. Desarrollos turísticos que requieren grandes cantidades de agua, especialmente campos de golf o urbanizaciones en zonas áridas agravan el déficit hídrico. Reforestaciones mal planificadas: Plantaciones forestales con especies no autóctonas o inapropiadas (como pinos o eucaliptos en zonas secas) pueden agotar el agua del suelo y aumentar el riesgo de incendios. Gestión inadecuada del agua: Grandes infraestructuras hidráulicas (embalses, trasvases) a veces redistribuyen el agua sin resolver los problemas estructurales de sobreuso, beneficiando modelos productivos insostenibles. El fomento del regadío en zonas ya vulnerables (como mediante subsidios o transformación de cultivos) puede ser contraproducente si no se acompaña de control y eficiencia. Falta de integración entre políticas agrícolas, forestales, hidrológicas y de ordenación del territorio, lo que genera respuestas parciales y contradictorias. Falta de participación y conocimiento local: La imposición de medidas sin contar con las comunidades locales puede generar rechazo o mala implementación. Ignorar saberes tradicionales o adaptaciones históricas al clima seco (como bancales, cultivos mixtos o técnicas de captación de agua) supone una pérdida de resiliencia territorial.
Género	La desertificación contribuye al abandono de áreas rurales, y en muchos casos las mujeres jóvenes son las primeras en migrar por falta de oportunidades y servicios. Sin embargo, en el ámbito rural son las mujeres las que mayoritariamente lideran iniciativas locales de agricultura ecológica, custodia del territorio, turismo sostenible y recuperación de saberes tradicionales que favorecen el uso sostenible del suelo. Son impulsoras de modelos agroecológicos y diversificados, que ofrecen alternativas reales a la degradación ambiental.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	La aridez, estimada como la relación inversa entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, afecta a diversos atributos estructurales y funcionales de los ecosistemas de las tierras secas del mundo, y provoca cambios abruptos en múltiples atributos de los ecosistemas. En otras palabras, una vez alcanzado un nivel de aridez, pequeños incrementos de esta provocan cambios drásticos en el valor del atributo. Estos cambios se producen secuencialmente en tres fases caracterizadas por descensos abruptos de la productividad vegetal, la fertilidad del suelo y la cubierta y riqueza vegetal a valores de aridez de 0,54, 0,70 y 0,80, respectivamente (Berdugo et al., 2020). Otros umbrales críticos clásicamente descritos son: • Pérdida de cobertura vegetal:< 30 % de cobertura permanente acelera la erosión, se reduce la infiltración de agua y aumenta la escorrentía. En suelos áridos, este umbral es especialmente crítico (Reynolds et al., 2007). • Reducción de materia orgánica: < 1–1,5 % de carbono orgánico en suelos agrícolas ocasiona la pérdida de fertilidad, estructura y biodiversidad microbiana, facilitando el inicio de una espiral de degradación. (Loveland & Webb, 2003). • Compactación y pérdida de porosidad: una densidad aparente > 1,6 g/cm³ en suelos franco-arenosos puede disminuir la infiltración de agua y el crecimiento radicular (Hamza & Anderson, 2005). • Salinización: conductividad eléctrica del suelo > 4 dS/m, ocasionando la inhibición del crecimiento vegetal, pérdida de productividad (El-Ramady et al., 2024).
Lock-in/Bloqueo	Los modelos agrícolas intensivos requieren grandes cantidades de agua y degradan la calidad del suelo. Así, por ejemplo, las inversiones hechas en sistemas de regadío o maquinaria hacen difícil cambiar a prácticas menos intensivas. La urbanización y el turismo en zonas áridas o litorales consumen suelo fértil y agravan la escasez de agua. La infraestructura ya construida y la economía local basada en el turismo masivo dificultan la restauración del territorio. La falta de gestión activa de las zonas rurales y forestales conduce a la erosión, a incendios forestales y a la pérdida de suelo. El éxodo rural ha dejado muchas áreas sin capacidad de intervención. La recuperación exige inversiones y cambios institucionales complejos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Entre las políticas específicas de la UE para la protección del suelo y la lucha contra la desertificación está la Estrategia de la UE para la Protección del Suelo, que tiene como objetivo que en el año 2050 los suelos de Europa estén sanos, en el sentido de que mantengan su capacidad para la provisión de bienes y servicios a la sociedad. Adicionalmente, el Pacto Verde Europeo contempla iniciativas e instrumentos estratégicos adicionales con objetivos cuyo cumplimiento requiere de actuaciones sinérgicas con las necesarias para combatir la lucha contra la desertificación y la degradación del suelo. Algunos de estos otros instrumentos estratégicos son: • Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la UE. • Estrategia de la UE sobre Biodiversidad de aquí a 2030. • Estrategia de la UE en favor de los bosques para 2030. • Ley de Restauración de la Naturaleza la UE que prevé la restauración de las zonas degradadas. • Estrategia «de la granja a la mesa». • Planes Estratégicos de la Política Agraria Común. • Estrategia de la UE para la Protección del Suelo. • Plan de Acción para la Economía Circular. • Misiones Horizonte Europa sobre salud del suelo y adaptación al cambio climático. En el ámbito nacional la Estrategia Nacional de Lucha Contra la Desertificación marca los objetivos y principios, analiza las políticas que mayor impacto tienen sobre la desertificación, elabora un diagnóstico de la situación en España (causas, impactos, principales escenarios de la desertificación y análisis DAFO) y propone medidas y acciones para mejorar la gobernanza de la lucha contra la desertificación y fomentar una gestión de las tierras que evite su degradación. Adicionalmente se cuenta con otras estrategias o instrumentos de las políticas sectoriales o transversales relacionados directa o indirectamente con la lucha contra la desertificación. Entre las políticas sectoriales están: • Plan Estratégico de la PAC post 2020 (2023-2027). • Planificación nacional de regadíos. • Grupos Operativos AEI-Agri (Asociación Europea para la Innovación en materia de productividad y sostenibilidad agrícola). • Estrategia de Digitalización del Sector Agroalimentario y Forestal y del Medio Rural. • Programa Nacional de Innovación e Investigación Agroalimentaria y Forestal. • Estrategia Forestal Española y Plan Forestal Español. • Plan Nacional de Actuaciones Prioritarias en materia de restauración hidrológico-forestal, control de la erosión y defensa contra la desertificación (PNAP). • Orientaciones Estratégicas de Gestión de Incendios Forestales en España.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• Planes Hidrológicos de las Demarcaciones Hidrográficas. • Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI). • Planes Especiales de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía (PES). • Estrategia Nacional de Restauración de Ríos. • Libro Verde de la Gobernanza del Agua. Entre las políticas transversales están: • Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética. • Estrategia a largo plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050 (ELP). • Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC). • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC-2) y los Planes de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España (PIMA Adapta). • Estrategia de Transición Justa. • Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (PEPNB). • Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológica (ENIVCRE). • Plan Estratégico de Humedales 2022-2030. • Red Española de Reservas de la Biosfera (Programa MaB-UNESCO). • Plan de Acción de Educación Ambiental para la Sostenibilidad 2021-2025. • Estrategia Nacional frente al Reto Demográfico. • Plan de Recuperación. 130 Medidas ante el Reto Demográfico: Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. • Estrategia Española de Economía Circular. España Circular 2030 / Plan de Acción de Economía Circular (PAEC 2021-2023). • Estrategia Española de Bioeconomía Horizonte 2030 (2015). • Plan Nacional de Acción de Finanzas Sostenibles. • Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR). • Estrategia de Desarrollo Sostenible 2030.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados

Gobernanza de gestión del riesgo

Dada la complejidad de este riesgo, se requiere un modelo de gobernanza integrado, la existencia de políticas multiescalares, la participación comunitaria y la aplicación de tecnologías para una gestión de riesgos efectiva, sostenible y adaptativa. Este tipo de gobernanza se basa en la cooperación entre actores públicos, privados y sociales a nivel local, nacional e internacional.

La UE y todos sus Estados miembros son parte de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD). La coordinación europea se canaliza a través de posiciones comunes y financiación de iniciativas de cooperación internacional.

Entre los instrumentos facilitadores de la gobernanza y gestión con los que cuenta la UE están:

- El Joint Research Centre proporciona datos científicos clave sobre suelos, erosión, aridez, incendios forestales y desertificación. Administra el European Soil Data Centre (ESDAC) y modelos como LUCAS (Land Use/Cover Area frame Survey).
- La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) produce evaluaciones periódicas sobre el estado del suelo y los impactos del cambio climático en la tierra. Es un soporte técnico esencial para las decisiones políticas.

A nivel comunitario también se cuenta con programas e instrumentos financieros como:

- Política Agraria Común (PAC): a través de los ecorregímenes, los pagos directos y los fondos de desarrollo rural (FEADER), se promueve la agricultura sostenible, la lucha contra la erosión y la gestión de tierras vulnerables.
- Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (NextGenerationEU): ha venido financiando acciones climáticas, restauración de suelos, reforestación, prevención de incendios y transformación agroecológica como parte de los planes nacionales de recuperación.
- Horizonte Europa: programa de financiación para investigación e innovación que incluye misiones específicas relacionadas con el suelo: "Soil Deal for Europe", que tiene como objetivo restaurar la salud del suelo en al menos el 75 % de los suelos europeos para 2030.
- LIFE Programme: fondo específico para el medio ambiente y la acción climática, que ha financiado numerosos proyectos piloto de restauración de suelos, lucha contra la desertificación y adaptación a la sequía.

A nivel estatal, el MITECO, a través de su Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación, coordina las políticas de lucha contra la desertificación. Además, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) proporcionan información técnica y científica clave.

Las comunidades autónomas tienen competencias en medio ambiente, agricultura, ordenación del territorio y prevención de incendios. Muchas de ellas han desarrollado planes y estrategias propias relacionadas con el cambio climático, ya sea como planes de adaptación, mitigación o estrategias integradas, alineadas con los objetivos del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) y los compromisos europeos e internacionales (como el Acuerdo de París).

Adicionalmente, también existen instrumentos locales de gobernanza de este riesgo (actuación de los municipios, diputaciones provinciales, comarcas y otras entidades subnacionales) en la gestión del territorio, la planificación urbanística, la protección ambiental, la agricultura y la sensibilización ciudadana, entre los que se encuentran:

- Planes Municipales de Adaptación al Cambio Climático (PMACC).
- Planes Generales de Ordenación Urbana (PGOU).
- Planes de Prevención de Incendios Forestales (PPIF).
- Estrategias de Desarrollo Local Participativo (EDLP).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Estos beneficios abarcan diversos ámbitos: • Ecológicos: reducción de la erosión, mejora de la infiltración y retención hídrica, recuperación de la biodiversidad del suelo, aumento del secuestro de carbono. • Agrícolas y productivos: estabilización o incremento de rendimientos agrícolas, mayor resiliencia de los sistemas agroganaderos, reducción de costes a largo plazo. • Socioeconómicos: fijación de población en áreas rurales. generación de empleo verde, protección del patrimonio paisajístico y cultural. • Beneficios en salud y seguridad: reducción de contaminantes del suelo, menor peligrosidad de incendios forestales, mitigación del riesgo de inundaciones. • Institucionales y políticos: cumplimiento de compromisos climáticos y ambientales, acceso a financiación internacional, fortalecimiento de la gobernanza local.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización • Pérdida de capacidad de sumidero de carbono: los suelos degradados pierden materia orgánica, lo que reduce el carbono almacenado. Se interrumpe el ciclo natural de captura y retención de carbono. • Emisiones asociadas a procesos degradativos: la erosión, los incendios forestales y la pérdida de cobertura vegetal provocan emisiones de carbono. Cambios en el uso del suelo por baja productividad aumentan las emisiones. • Aumento de vulnerabilidad al cambio climático: suelos degradados responden peor a eventos extremos (sequías, lluvias intensas), dificultando prácticas de carbono positivo, como la agricultura de conservación o la reforestación. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Impactos positivos (reducción del riesgo de desertificación): > Las políticas climáticas promueven la reforestación, la agricultura regenerativa y la restauración de suelos degradados, contribuyen a mantener la integridad y calidad del suelo y de la productividad. > Las tecnologías eficientes (riego localizado, reutilización de aguas residuales) impulsadas por la transición energética reducen la demanda de nuevos recursos hídricos. > Las inversiones en infraestructura verde permiten financiar proyectos de revegetación, terrazas, cortafuegos naturales, lo que ayuda a frenar la degradación. • Impactos potenciales negativos o contradictorios: > La expansión de infraestructuras renovables (plantas fotovoltaicas o eólicas) puede ocasionar compactación, erosión y pérdida de cobertura vegetal. > Intensificación de cultivos bioenergéticos: la producción masiva de biocombustibles o biomasa puede conducir a sobreexplotación del suelo y del uso del agua en zonas semiáridas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Déficits de información	Existe déficit de datos sistemáticos, continuos y comparables a escala nacional y regional. Aunque existen iniciativas como el Inventario Nacional de Suelos (INS) o el Sistema de Información sobre Desertificación en España, la cobertura temporal y espacial es aún insuficiente para capturar la variabilidad de los procesos de degradación. Algunos procesos de degradación están relativamente bien documentados (p. ej. la erosión del suelo), mientras que otros, como la pérdida de biodiversidad, siguen sin abordarse adecuadamente. La ausencia de indicadores normalizados y validados a nivel estatal impide una evaluación precisa del estado y la evolución del suelo, limitando la identificación de áreas críticas y la priorización de medidas. La desertificación es un proceso multifactorial, pero la información disponible suele abordar los factores de forma aislada. La integración de datos agroclimáticos, socioeconómicos y de usos del suelo en plataformas comunes es aún incipiente. Esto limita la posibilidad de realizar análisis sistémicos y prospectivos que permitan anticipar dinámicas futuras bajo distintos escenarios de cambio climático.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5.5. RC 4.5 Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático

Introducción al riesgo

Este riesgo analiza cómo el cambio climático puede afectar a las condiciones que propician los incendios forestales y, con ello, la pérdida de las masas forestales que se queman. La probabilidad e intensidad del peligro de incendio están determinadas por la meteorología y el clima, los cuales favorecen la ignición y propagación del fuego (Abatzoglou *et al.*, 2018). Para que haya una ignición, se precisa una fuente de energía que inicie el proceso de combustión. El 95 % de los incendios se deben a causas humanas y el resto a los rayos (MAPA, 2019). Los eventos extremos de altas temperaturas, baja precipitación, bajo contenido en humedad del aire y alta velocidad del viento favorecen los grandes incendios (Cardil *et al.*, 2015; Rodrigues *et al.*, 2023; Russo *et al.*, 2017).

Los incendios ocurren prácticamente en toda nuestra geografía, aunque en el noroeste peninsular tienen una mayor prevalencia (MAPA, 2019; Urbieta *et al.*, 2019). Por su importancia, su extensión y probabilidad de que con el cambio climático terminen siendo más grandes e intensos, este riesgo se considera clave. La **Figura 10** esquematiza los componentes e impactos de este riesgo.

Entre 1960 y finales del siglo pasado, España registró un fuerte aumento en el número de incendios forestales, superando en algunos años los 25.000 siniestros. Desde entonces, la tendencia ha sido descendente, de manera que en la última década el número medio de siniestros ha caído a 9.670 por año (MITECO, 2025). Entre 1961 y 2024 se quemaron más de 8,9 millones de hectáreas, lo que supone un 31 % de la superficie forestal del país. Las décadas de 1970 a 1990 concentraron los años más severos, con más de 400.000 ha quemadas en 1978, 1985, 1989 y 1994, y promedios anuales de hasta 244.000 ha en la década de 1980. El área quemada anualmente ha descendido en las últimas décadas, debido a un aumento en la eficacia de la extinción (Urbieta et al., 2019). Así, durante la última década el promedio de superficie quemada ha sido de 103.000 ha/año, de las cuales 35.000 ha fueron arboladas, y unas 24.000 ha afectaron a zonas protegidas. No obstante, en los últimos años (2022, 2025) se han producido grandes aumentos del área quemada y de grandes incendios, que han coincidido con olas de calor también extraordinarias, marcando un cambio de tendencia (ver **Cuadro 1**). La siniestralidad se reparte de forma muy similar entre las provincias del noroeste, centro y mediterráneo. Sin embargo, la superficie quemada es mayor en las dos primeras, particularmente la superficie arbolada, con un 27,9 %, 59,3 % y 12,7 %, respectivamente (MITECO, 2025). El promedio anual de grandes incendios (>500 ha) en la última década ha sido de 24. Aunque su número es pequeño (0,18 % del total), la superficie que queman

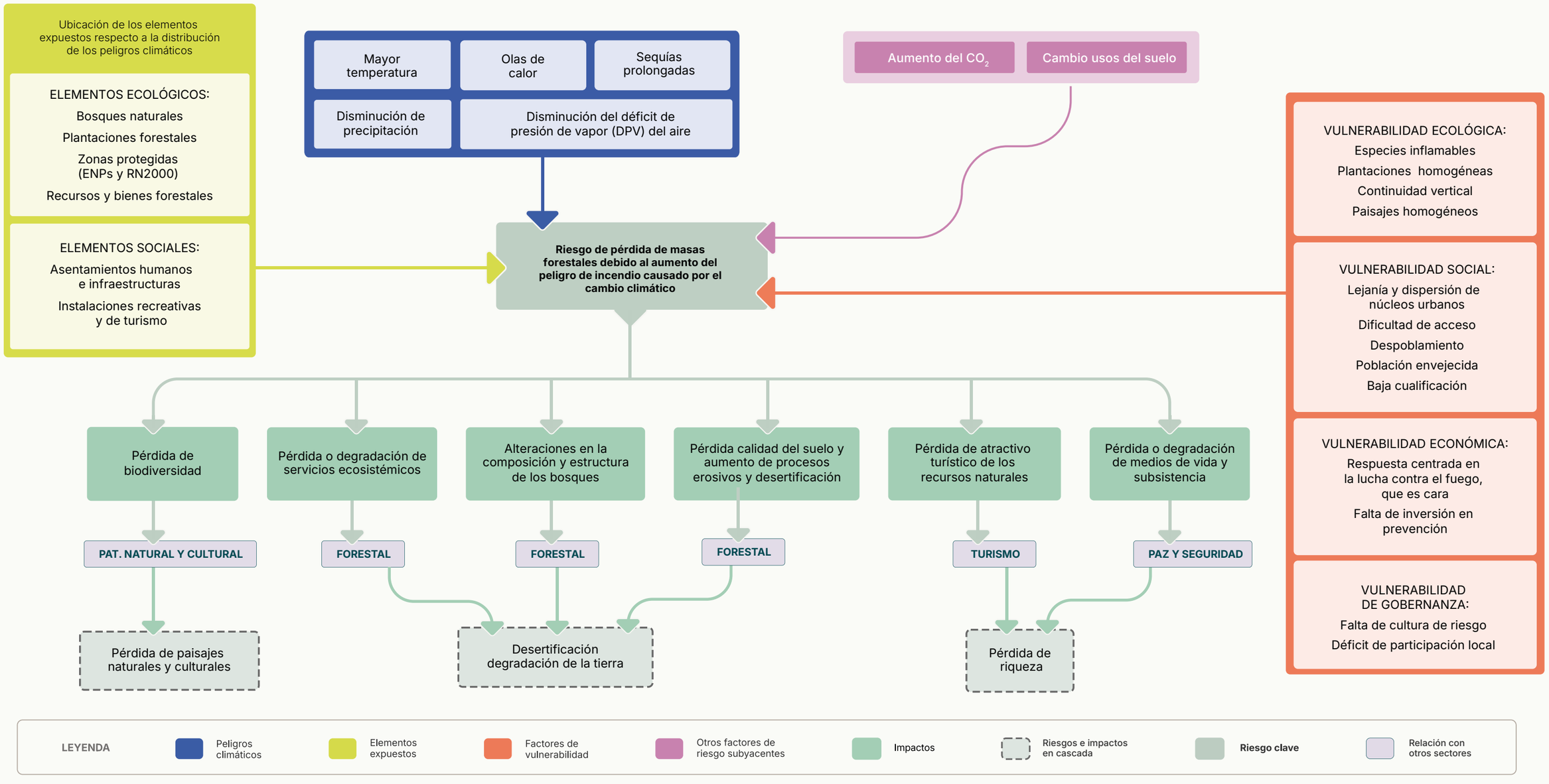


Figura 10. Cadena de impacto del riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.

Cuadro 1. Los megaincendios de 2022 y 2025 y las olas de calor

Hasta 2022, el área quemada anualmente venía descendiendo en las últimas décadas, debido a la mayor capacidad de lucha contra el fuego. Aun así, en ese año se quemaron 263.000 ha, casi cuatro veces más que la media del decenio precedente, con 57 incendios de más de 500 ha. La mayor superficie quemada se dio en Galicia, Castilla y León, Extremadura, Navarra y Valencia. Los dos mayores incendios ocurrieron en Zamora (Sierra de la Culebra), con 28.000 y 26.000 ha. El fuego se vio favorecido por olas de calor casi continuas durante el verano, acompañadas de vientos secos en muchas zonas.

En 2025, los incendios volvieron a afectar al noroeste de España. El 31 de agosto se habían quemado en España 346.443 ha (datos de MITECO; CyL de EFFIS), principalmente en Galicia, Castilla y León, y en menor medida, en Extremadura, Asturias y Andalucía. Se produjeron 60 incendios de más de 500 ha y 10 incendios de más de 10.000 ha (megaincendios), que afectaron a 261.000 ha. Agosto empezó con una ola de calor de gran extensión, duración e intensidad que, según AEMET, fue récord histórico, con 4,6 °C de anomalía, superando el récord anterior de 2022 (4,5 °C). Los incendios comenzaron en la segunda semana del mes, impulsados por un viento seco, del sur y cambiante, con rachas que alcanzaron los 70-80 km/h, causando 4 muertes y la evacuación de 40.000 personas. El día 16 del mes había 28 incendios simultáneos. El fuego afectó directamente a varias aldeas y pueblos. La línea de AVE Madrid-Galicia estuvo suspendida durante 7 días consecutivos. El humo cubrió amplias zonas del noroeste peninsular durante muchos días. En paralelo, en el norte de Portugal se produjo una oleada de incendios que afectó a 268.000 ha, un 3 % de su territorio.

2022 y 2025 marcan un punto de inflexión en la tendencia reciente de los incendios forestales en España. Hay que remontarse a 1994 para encontrar cifras de área quemada superiores, cuando el sistema de lucha contra incendios estaba mucho menos desarrollado. Los numerosos incendios simultáneos que se produjeron en distintas zonas del país, favorecidos por olas de calor extremas y montes cargados de combustible, nos alertan del potencial para la catástrofe bajo un clima recalentado.

es desproporcionadamente grande (36 % del total). En este sentido, desde principios de los años 2000 se está observando una tendencia hacia el incremento de los incendios forestales de mayor tamaño (MAPA, 2019) (**Cuadro 1**). Las igniciones pueden tener causa natural (rayos) o humana, y su distribución espacial y temporal es desigual, lo que determina en parte la distribución geográfica de los incendios (Vázquez & Moreno, 1998). Los rayos son frecuentes en zonas elevadas y afectan a unos tipos de vegetación más que otros (Vecín- Arias *et al.*, 2016). Por otro lado, las igniciones humanas son más frecuentes en zonas próximas a los asentamientos humanos y a las carreteras (Badia-Perpinyá & Pallares-Barbera, 2006; Viedma *et al.*, 2009; Zambon *et al.*, 2019), aunque su papel ha ido cambiando con el tiempo (Rodrigues *et al.*, 2018). De media, la mayoría de los incendios forestales en España son provocados por la acción humana: un 28 % por negligencias y un 53 % de forma intencionada. Solo el 5 % tiene origen natural, principalmente por la caída de rayos (MAPA, 2019).

La cadena de impacto: peligro, exposición y vulnerabilidad

Para que se produzca un incendio forestal se requieren tres elementos fundamentales: una fuente de ignición, combustible disponible y condiciones meteorológicas que permitan la propagación

del fuego. Esta última componente —el estado atmosférico— resulta clave, ya que variables como la temperatura, la humedad relativa, el viento o la precipitación, así como factores acumulativos, como la sequía, determinan la probabilidad de propagación una vez que se produce la ignición. El análisis del vínculo entre la actividad de fuego y el clima se basa en el estudio de estas variables climáticas de forma individual (Gudmundsson *et al.*, 2014; Jain *et al.*, 2022) o combinadas en índices de peligro (Urbieta *et al.*, 2015). Entre los índices de peligro más usados se encuentra el FWI (por sus siglas en inglés de Fire Weather Index [Índice Meteorológico del Fuego]), del sistema canadiense de peligro de incendios, por ajustarse muy bien a las condiciones de nuestra geografía y vegetación.

Durante las últimas décadas, el FWI ha aumentado, tanto en sus valores medios como en los extremos (Carnicer *et al.*, 2022; Hetzer *et al.*, 2024; Venäläinen *et al.*, 2014), lo que se refleja en la aparición de incendios con más intensidad, y más veloces (i.e., mayor tasa de propagación), aunque parte de este incremento también es debido a la mayor biomasa acumulada (Senande-Rivera *et al.*, 2025). La temporada de incendios se ha alargado (Jolly *et al.*, 2015), y han aumentado la severidad del fuego (Grünig *et al.*, 2023), la sincronización espacial de las condiciones de peligro más severas (Torres-Vázquez *et al.*, 2025), los incendios de intensidad y velocidad de propagación desusadamente alta (Duane *et al.*, 2021) y la proporción de superficie quemada por los incendios de mayor tamaño (Royé *et al.*, 2020). Los incendios grandes (megaincendios) han aumentado también, particularmente bajo condiciones de ola de calor, que también han aumentado (Costa-Saura et al., 2025) (**Cuadro 1**).Además, las proyecciones de cambio climático indican un aumento en la frecuencia e intensidad de las condiciones meteorológicas —medias y extremas— que favorecerán los incendios forestales, además de un alargamiento de la temporada de incendios (Bedia *et al.*, 2015; Carnicer *et al.*, 2022; El Garroussi *et al.*, 2024) (**Figura 11**). La velocidad de propagación del fuego y su intensidad aumentarán (Aparício *et al.*, 2022), así como el tamaño máximo de los incendios (Grünig *et al.*, 2023; Ruffault *et al.*, 2020). Sin embargo, el impacto de la mayor severidad de las condiciones de incendio sobre su incidencia varía considerablemente según los autores, los modelos utilizados y los escenarios considerados (Dupuy *et al.*, 2020). Para modelos basados en índices de sequía se prevén aumentos del 50 % de la superficie quemada para un calentamiento global de 1,5 °C, y hasta más del 200 % para calentamientos globales de 3 °C (Turco *et al.*, 2018). Cálculos basados en el FWI arrojan aumentos del 200-300 % para finales de siglo en escenarios intensos en emisiones, con calentamientos globales de hasta 4 °C (Sousa *et al.*, 2015). No obstante, estos modelos no contemplan las interacciones entre el clima y otros factores sobre la vegetación, ni tampoco la interacción del fuego sobre esta o los efectos de la lucha contra incendios, por lo que la incertidumbre de sus cálculos es alta.

El combustible vegetal constituye el otro componente del peligro, siempre que presente niveles críticos de sequedad y una continuidad espacial que favorezca la propagación del fuego. Las características de los vegetales y su conformación estructural y espacial determinan su mayor

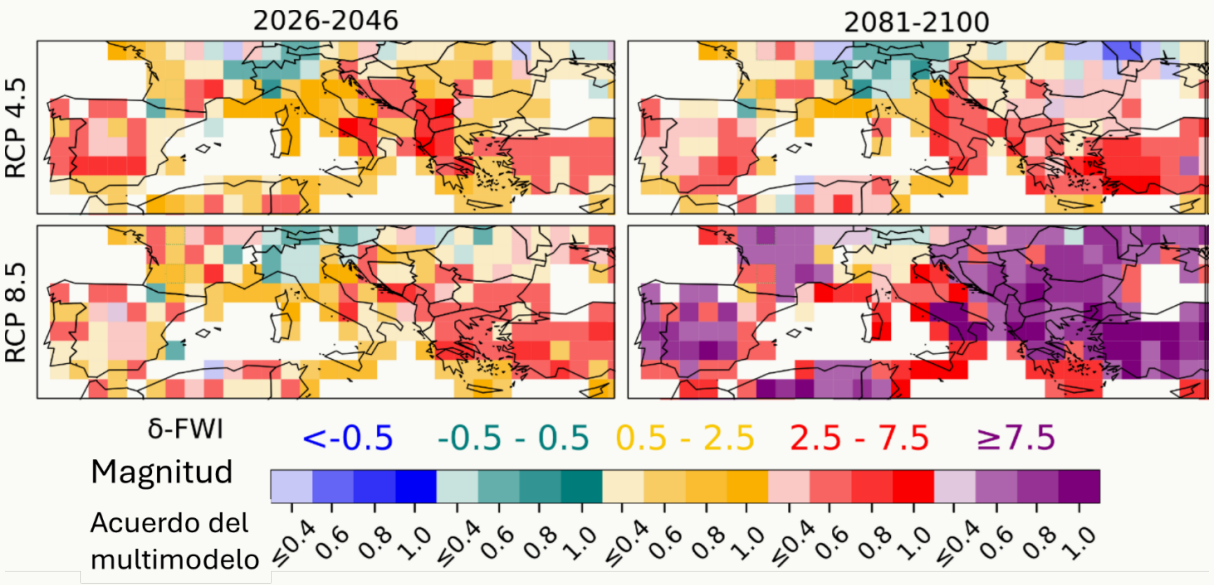


Figura 11. Anomalías del índice de peligro FWI (δ-FWI) calculadas por un multimodelo para la estación de incendios actual (JJAS) en la región mediterránea, considerando dos periodos futuros (cercano, 2026-2046) y lejano (2081-2100), y dos escenarios de forzamiento radiativo (moderado, RCP 4.5) y extremo (RCP 8.5). La magnitud y el signo de las anomalías quedan representados por los tonos de color (divididos en 5 intervalos), mientras que el nivel de transparencia indica el nivel de acuerdo entre los modelos, y se expresa como la fracción del número total de modelos cuya anomalía proyectada coincide en el mismo intervalo. Fuente: Bedia et al., 2015.

o menor propensión a arder, y por tanto la magnitud del fuego. Consiguientemente, son parte de la peligrosidad, ya que el fuego es un riesgo en el que los individuos que son afectados (arden) contribuyen al peligro. Los vegetales difieren en su susceptibilidad a arder, por tanto, en la predisposición a ser afectados por el fuego, lo que determina su vulnerabilidad, por lo que se incluirá en esa parte (Lecina-Diaz, Martínez-Vilalta, Alvarez, Banqué, *et al.*, 2021). Otro componente de la peligrosidad de un territorio es su relieve, ya que las zonas inclinadas son más factibles de arder que las planas, toda vez que el fuego se transmite mejor a favor de la pendiente (Viedma *et al.*, 2015).

Los elementos expuestos que pueden ser afectados por el fuego son los propios bosques, independientemente de su naturaleza y fines, así como los servicios que prestan. Otros elementos expuestos son las infraestructuras que pueden verse afectadas por el fuego (viviendas, pistas forestales, carreteras, líneas de conducción de servicios, áreas recreativas, establecimientos de turismo rural, etc.), así como las personas, bien por verse afectadas por el calor (de forma poco frecuente) o por el humo (Chuvieco *et al.*, 2023). No obstante, la afección por humo será tratada en el capítulo de salud.

Como se dijo anteriormente, la superficie arbolada de España asciende a 19,2 Mha. En la última década, el promedio quemado anualmente de superficie arbolada fue de 35.000 ha, lo que equivale al 0,18 % de la superficie arbolada total. Asumiendo que no hay requemados, esto daría un periodo de retorno superior a 500 años. Esta cifra, no obstante, no representa adecuadamente la variabilidad entre regiones: hay zonas que se queman con frecuencias inferiores a 50 años, mientras que otras se queman raramente.

El número de personas expuestas varía considerablemente según su proximidad a la interfaz urbano-forestal (IUF) y al tipo de urbanismo predominante. Así, en regiones como Galicia, donde existe una importante continuidad entre el bosque y los asentamientos urbanos, la IUF es extensa. Por el contrario, en el sur peninsular abundan los núcleos urbanos compactos, lo que reduce la superficie de IUF. Se calcula que la superficie de IUF en España es ligeramente superior a 100.000 km², lo que implica que 8,8 millones de personas —el 18,8 % de la población— viven en zonas con riesgo de incendios forestales (Gómez *et al.*, 2025). Por otro lado, los incendios pueden afectar a los recursos y servicios que proveen los bosques, y que se ven expuestos cuando estos se queman. Estos comprenden afecciones directas a los activos quemados y a la salud humana, o al ecosistema, con pérdida de los servicios ecosistémicos que presta (p. ej. captura y almacenamiento de carbono), así como otros daños en cascada.

Se ha calculado que, entre 2010 y 2018, el daño causado por los incendios de Portugal, España, Italia y Grecia supuso una disminución de la tasa de incremento del PIB del 0,011 % al 0,018 % (Meier *et al.*, 2023). El análisis de los costes actuales anuales de los activos fijos quemados por los incendios entre 1990 y 2020 en España se estimó en 520 M€ (Gómez *et al.*, 2025). Los costes por las pérdidas de productos madereros se estimaron para 2006-2015 en 705 €/ha (22,6M€ anuales) (Bravo *et al.*, 2017). Los costes aumentan cuando se incluyen las externalidades. Así, en los incendios de Galicia de 2006 (93.000 ha), su inclusión hizo que el costo ascendiese a más de 2.440€/ha (226,9 M€ en total). No obstante, no se incluyeron los efectos en cascada, como la afección a las marisquerías de las rías causadas por el agua procedente de las zonas quemadas (Barrio et al., 2007). El cambio climático aumentará la población expuesta al fuego, tanto más cuanto mayor sea el calentamiento, así como los costes de los activos afectados (Gómez *et al.*, 2025).

Las especies que componen el bosque difieren en sus características físicas, químicas y fisiológicas, como la densidad de las hojas, su contenido en humedad o componentes volátiles, entre otros. Esto afecta a su inflamabilidad y combustibilidad, determinando su mayor o menor propensión a arder (Dimitrakopoulos & Papaioannou, 2001; Valette, 1990). La hojarasca producida por las distintas especies desempeña un papel crucial en la propagación del fuego, ya que los fuegos suelen comenzar en el suelo. Las características físicas de las partículas —como la relación superficie/volumen—, o de los lechos que forman —como la porosidad o la permeabilidad— (Santoni *et al.*,

2014), así como la presencia de compuestos altamente inflamables —como los terpenos— (Ormeño *et al.*, 2009) pueden ser determinantes de su capacidad para inflamarse y propagar el fuego.

La propagación del fuego depende también de la carga de combustible (biomasa por unidad de superficie), la cantidad de partículas de diferentes tamaños, particularmente las muertas y finas, que son las que mayoritariamente entran en combustión, el contenido en materia muerta o la distribución vertical y horizontal. Una continuidad de partículas de combustible desde el suelo hasta la bóveda del dosel permitirá que los incendios sean de copas, que son más intensos. Por el contrario, si hay discontinuidad, los incendios serán de superficie y menos intensos (Rego *et al.*, 2021). Una distribución discontinua en el paisaje actúa de freno a los mismos (Viedma *et al.*, 2009). Por tanto, no solo es relevante la composición específica de especies, sino también su organización espacial dentro de la estructura de la vegetación. Asimismo, la inflamabilidad de las plantas ha sido objeto de la evolución, por eso sus diferencias deben considerarse, al menos en parte, como respuesta al fuego (Pausas *et al.*, 2017).

Los factores socioeconómicos influyen significativamente en la afección por fuego y, frecuentemente, las variables que los describen se incluyen en modelos que explican la variación de la actividad del fuego (Viedma *et al.*, 2018). Las comunidades más susceptibles se caracterizan por tener una elevada proporción de población envejecida, baja densidad demográfica, pérdida de actividad agrícola y forestal, escaso valor económico de la tierra y una débil estructura institucional (Chas-Amil *et al.*, 2022; Martínez *et al.*, 2009). Esto refleja un abandono progresivo del territorio, falta de gestión del combustible vegetal y disminución de las capacidades locales de prevención, lo que propicia la propagación del fuego. Este tipo de comunidades suelen estar también más lejanas, con accesos más difíciles, lo que dificulta la llegada de medios de lucha contra el fuego.

La presión urbana sobre las áreas forestales aumenta las zonas de IUF. Estas son áreas de alta actividad de incendios al ser los núcleos urbanos y las carreteras que los circundan focos de ignición (Modugno *et al.*, 2016; Moreno *et al.*, 2011). Además, como se ha comentado, elevan el riesgo por un aumento de las personas e infraestructuras expuestas. La mayor ocurrencia de incendios está asociada a la IUF con agrupaciones de edificaciones muy densas, como las periurbanas (Chas-Amil *et al.*, 2013). Las tipologías de IUF más susceptibles a incendios de alta severidad son aquellas con edificaciones aisladas y dispersas y rodeadas por una matriz de matorral con alta cobertura (Beltrán-Marcos *et al.*, 2023) y por pinares que arden con mayor intensidad que los bosques de caducifolios (Fernandes *et al.*, 2010). En general, la IUF en áreas periurbanas tiene una menor vulnerabilidad social (población más joven, mayores ingresos, mejores infraestructuras y servicios públicos). No obstante, cuando los incendios alcanzan estas zonas, los daños pueden ser elevados por la alta concentración de viviendas y personas (Chas-Amil *et al.*, 2022).

La regeneración de las especies descansa en la capacidad de rebrotar o de producir semillas que sobreviven al fuego. El rebrote es posible cuando se dispone de yemas protegidas por cortezas gruesas o por estar situadas a cierta profundidad en el suelo, donde no se alcanzan altas temperaturas. En este sentido, un primer nivel de protección de los árboles frente al fuego descansa en el grosor de la corteza, que aísla al cambium de las altas temperaturas y les permite sobrevivir al paso del fuego (Fernandes *et al.*, 2008). El grosor de la corteza varía notablemente entre especies, siendo mayor en las especies que secularmente han estado expuestas al fuego (Pausas, 2015). La eficacia del grosor de la corteza depende del tipo de incendio. Así, en los de superficie, un grosor adecuado en el tronco es suficiente para que el árbol sobreviva. Por el contrario, en los incendios de copas, la protección debe ampliarse al resto del árbol (Tapias *et al.*, 2004). *Q. suber* o *P. canariensis* protegen las yemas de las ramas del árbol y son capaces de rebrotar a partir de ellas, mostrando altos niveles de supervivencia (González *et al.*, 2007). En otras especies, las yemas protegidas se localizan en la base del tallo —como en Q. ilex— o en estructuras especializadas como el lignotúber, parcial o totalmente enterrado, presente en *Q. suber*, *Erica australis* y otras especies leñosas, desde donde se inicia la regeneración posincendio (Clarke *et al.*, 2013). Esto permite la recuperación de la población en poco tiempo, con los mismos individuos (Bond & Midgley, 2001).

La regeneración por semilla constituye una segunda estrategia adaptativa frente al fuego. En especies como *P. halepensis* y *P. pinaster*, los individuos adultos perecen tras el incendio, y la población se restablece mediante semillas retenidas en estróbilos serótinos, cuya apertura es inducida por el calor, facilitando la dispersión y germinación posfuego (Tapias *et al.*, 2004). Finalmente, otras especies carecen de mecanismos de resistencia al fuego, por lo que la población sucumbirá a su paso y se regenerará a partir de semillas de zonas no quemadas, como en el caso de *P. nigra* y *P. sylvestris* (Retana *et al.*, 2002). En este sentido, la propagación desigual del fuego por el paisaje, formando islas de árboles no quemados, es importante para favorecer la rápida colonización de las zonas quemadas. Cuanto más grave sea el incendio, más homogénea será la quema y menor será la probabilidad de que queden islas que sirvan de núcleos de colonización. Por lo tanto, la recuperación de la población dependerá del grado de afectación. Mientras que los incendios de superficie apenas suponen una alteración parcial del sotobosque, los de copas son más destructivos, y el sistema precisará más tiempo para recuperarse, tanto si es por rebrote como por semillas. Uno de los casos mejor estudiados es el de un bosque de *Q. ilex* en el sur de Francia, en el que se calculó que al cabo de 50 años el ecosistema se habría restaurado en su totalidad, incluyendo las comunidades vegetales y animales (Prodon, 2021).

Por otro lado, la capacidad de resistir al fuego y recuperarse puede ser distinta en el suelo. En general, los suelos suelen ser bastante resilientes al fuego, y sus características fisicoquímicas y su biodiversidad sufren inicialmente el golpe del fuego, pero se recuperan lentamente, de manera que tras 20-40 años su recuperación es total (Albert-Belda *et al.*, 2023; Pérez-Valera *et al.*, 2020). Finalmente, la recuperación depende también de su exposición a la erosión; en general, esta puede ser elevada inme-

diatamente tras el fuego, pero su pérdida puede ser compensada durante el tiempo de regeneración, salvo en ciertos casos en zonas de pendientes elevadas y lluvias torrenciales, donde tras un evento puede perderse suelo equivalente a lo que se formaría en centenares de años (Pausas *et al.*, 2008). Por tanto, el tipo de suelo, sustrato, topografía y clima determinan la estabilidad del suelo al incendio. En el caso de la regeneración por semilla, la primera temporada tras el incendio es crucial (Herranz *et al.*, 1997). La climatología antes y después del incendio, en particular la sequía, puede afectar a la regeneración (Elvira *et al.*, 2021).

España ha desarrollado una alta capacidad institucional para adaptarse al aumento del riesgo de incendios forestales. A nivel estatal, la Estrategia Forestal Española 2050 y el Plan Forestal 2022–2032 refuerzan la prevención y la gestión adaptativa del territorio. Además, España cuenta también con un sistema de protección civil bien estructurado, que se activa en el caso de la emergencia y ante la necesidad de desplazar a la población por el riesgo inminente del fuego o, mayoritariamente, de la exposición al humo. En promedio, cada año se evacúan 12.952 personas (datos de 2006-2015) (MITECO, 2024a). Finalmente, las comunidades autónomas cuentan con planes específicos (como INFOCA, INFOCAT o INFOEX), adaptados a sus condiciones. Este conjunto de políticas y estructuras mejora la gestión del fuego de forma más acorde con un contexto de cambio climático con condiciones que serán muy adversas, y en consonancia también con la multifuncionalidad del bosque (Moreira *et al.*, 2020). Por otro lado, los bosques españoles están sujetos a instrumentos de ordenación forestal, cuyo objetivo es garantizar la sostenibilidad de las funciones económicas, ambientales y sociales. No obstante, actualmente solo el 20,3 % de los montes están ordenados. Además, parte de los montes es objeto de certificación ambiental, aunque la superficie afectada es baja (14,9 % de la superficie arbolada) (MITECO, 2021).

Tras un incendio, los servicios forestales implementan medidas de protección en áreas con elevada susceptibilidad a la erosión, así como acciones de restauración ecológica, que pueden incluir plantaciones o siembras en zonas donde la regeneración natural resulta insuficiente (MITECO, 2024a). Consecuente con estas políticas, según datos de 2010, los gastos en extinción y prevención de incendios han supuesto un alto porcentaje de las inversiones de la Administración General del Estado (AGE) en el sector forestal (21,75 % y 14,16 % respectivamente), así como la forestación y restauración de la cubierta vegetal (12,03 %)[12]. Las inversiones públicas destinadas actualmente a la defensa contra incendios forestales son elevadas, pero persisten desequilibrios entre las destinadas a la prevención y a la extinción, lo que limita severamente su eficacia. Además, las inversiones en restauración de incendios deben buscar la creación de vegetación más resistente y resiliente a los incendios[13]. En

[12] Plan de Activación Económica del Sector Forestal https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/politica-forestal/plan-pasfor.html

[13] Orientaciones Estratégicas para la Gestión de Incendios Forestales en España https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/planes-y-estrategias.html

términos económicos, el coste anual estimado para la restauración de las áreas quemadas en España aumentaría desde 456 millones de euros en la actualidad a 786 millones bajo el escenario A1B (RCP 6.0, 2.8-3 °C), asumiendo niveles medios de severidad del fuego y periodos de restauración variables según la edad del bosque (Camia et al., 2017).

Impactos de riesgo

Impactos sobre la estructura y composición de la vegetación**:** La autosucesión[14] constituye el paradigma de aquellos ecosistemas en los que el fuego actúa como principal agente de perturbación. En estos casos, el fuego altera temporalmente la estructura y composición del ecosistema, pero al cabo de un tiempo tiende a volver a un estado similar previo al incendio (Hanes, 1971). Sin embargo, el cambio progresivo del régimen de incendios (exceso de fuentes de ignición que aumentan la frecuencia de incendios en sistemas que normalmente no arderían o que, cuando lo hacen, el momento del año es distinto a lo que sería normal en un régimen de incendios natural) hacen que la autosucesión no necesariamente se cumpla y las especies dominantes del bosque originario pueden ser reemplazadas por otras, afectando así a su composición y estructura (Rodrigo *et al.*, 2004; Torres *et al.*, 2016). Por ello, los incendios pueden inducir cambios en la composición, función y servicios ecosistémicos, modificando así la trayectoria sucesional del ecosistema. Asumir que nuestros ecosistemas son estables a fuego puede ser irrealista (Prodon, 2021).

Impactos sobre la biodiversidad: El fuego modifica temporalmente la biodiversidad vegetal, animal y microbiana del suelo (Albert-Belda *et al.*, 2023; Pressler *et al.*, 2019), así como la productividad primaria y los flujos de C (Kaye *et al.*, 2010). La biodiversidad es función de la pirodiversidad (Kelly & Brotons, 2017), esto es, del régimen de incendios (tipo, tamaño y estacionalidad del fuego) de un territorio, el cual frecuentemente está en transición por el impacto humano, a lo que se une el cambio climático (Moreno *et al.*, 2014; Rodrigues, Jiménez-Ruano*, et al.*, 2020).

Impactos sobre los servicios ecosistémicos: La pérdida de cobertura vegetal afecta a los flujos de agua, nutrientes y suelo (Pausas *et al.*, 2008). Los valores del ecosistema cambian, ya que las alteraciones en la estructura y composición no se estabilizarán hasta pasadas algunas décadas, dependiendo del ecosistema que se trate. Como se ha mencionado, el estudio sucesional postincendio diacrónico más completo que se tiene es de un encinar de *Q. ilex*, y muestra que se necesitarían 50 años para recuperarse la integridad del ecosistema (Jacquet & Prodon, 2009).

Impactos sobre las personas: El fuego afecta directamente a la población, principalmente por la ex-

[14] Autosucesión: regeneración natural de un ecosistema quemado a partir de las especies preexistentes, ya sea por rebrote de plantas o por la germinación de semillas que estaban presentes antes del fuego.

posición al humo y por las evacuaciones asociadas, que alteran la vida cotidiana, y por la afectación a sus bienes, viviendas y medios de subsistencia ligados a la actividad agraria y forestal (Chas-Amil *et al.*, 2020). Entre 2006 y 2015, el 2,1 % de los incendios en España provocaron incidencias de protección civil, incluyendo evacuaciones, cortes de servicios y daños materiales (MAPA, 2019). Además, se quemaron, en promedio, 39.228 ha/año en montes privados, lo que representa el 57 % de la superficie total afectada. El fuego también altera las funciones recreativas del ecosistema, con impactos potenciales sobre el turismo (Barrio *et al.*, 2007; Molina *et al.*, 2017).

El resumen del análisis completo del riesgo se puede consultar con detalle en la **Ficha 4**.

Ficha 4. Análisis del riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial	Crítica	Crítica
	En la España mediterránea, la severidad de las sequías ha aumentado en los últimos 50 años (Vicente-Serrano et al., 2014). El índice de peligro de incendios FWI ha aumentado entre 1979 y 2009 (+136 %; +29 días por año) (Jones et al., 2022). Aumento de 12-29 días por año en la duración de la temporada de incendios (Jolly et al., 2015). El cociente de probabilidades de años de incendios extremos ha aumentado (Abatzoglou et al., 2025).	En el sur de Europa, se prevé un aumento del FWI medio anual del 18 % y del 22 % respecto al periodo histórico (1971–2000) (Camia et al., 2017). El número de días con FWI extremo (>38) se triplica (de 26 a 80 días/año) en el oeste de España (Aparício et al., 2022). La superficie media anual quemada podría aumentar un 40-54 % (Turco et al., 2018).	Aumentos del FWI del 38 % en promedio anual para España (Bedia et al., 2014). En España, el número de días con FWI > 30 se duplica (Bedia et al., 2014). La superficie media anual quemada podría aumentar un 62-87 % (Turco et al., 2018). Mayor velocidad de propagación y mayor intensidad de las llamas (Aparício et al., 2022).	Incrementos de 45-51 % al 300 % del FWI en la península ibérica (Amatulli et al., 2013; Sousa et al., 2015). Se proyecta que se triplique el peligro extremo de incendio (FWI90: 80 días/año) y habrá mayor probabilidad de incendios extremos en primavera y otoño (Aparício et al., 2022). La superficie quemada podrá aumentar del 96-187 % (Turco et al., 2018). La temporada de incendios se incrementa en 3-4 días por década respecto al periodo histórico 1974–2005 (Dupuy et al., 2020).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5°C)	Medio plazo 2041-2060 (2°C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4°C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Alta · Medio	· Alta · Medio	· Alta · Medio
	Alta calidad académica, metodologías robustas basadas en datos cuantitativos. Alto consenso entre estudios. Alta cobertura espacial y temporal.	Alta para proyecciones climáticas (alta calidad académica, alto consenso y alta cobertura). Media baja para proyecciones del régimen de incendios (otros factores externos alteran la relación régimen de incendios-clima). Variaciones regionales que crean alta incertidumbre.	Alta para proyecciones climáticas (alta calidad académica, alto consenso y alta cobertura). Media baja para proyecciones del régimen de incendios (otros factores externos alteran la relación régimen de incendios-clima). Variaciones regionales que crean alta incertidumbre	Alta para proyecciones climáticas (alta calidad académica, alto consenso y alta cobertura). Media baja para proyecciones del régimen de incendios (otros factores externos alteran la relación régimen de incendios-clima). Variaciones regionales que crean alta incertidumbre.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	La amenaza principal proviene de la severidad de las sequías y olas de calor más prolongadas que incrementan el índice meteorológico de incendios (FWI). Existe una correlación significativa entre el FWI, las olas de calor y las sequías con la superficie quemada (Rodrigues, Trigo, et al., 2020; Urbieta et al., 2015).	Los factores de exposición son: • Formaciones forestales naturales (arboladas y desarboladas). • Plantaciones forestales. • Espacios protegidos. • Edificaciones e infraestructuras. • Instalaciones recreativas. La distribución geográfica del riesgo es nacional, pero con distintos niveles de intensidad e impactos.	Susceptibilidad ecológica: • Plantaciones densas y homogéneas. • Especies inflamables. • Continuidad vertical. • Paisajes homogéneos. • Rugosidad del terreno. Susceptibilidad social: • Interfaz urbano forestal. • Lejanía a núcleos urbanos. infraestructuras y servicios de extinción. • Dificultad de acceso. • Despoblamiento. • Población envejecida. Capacidad de adaptación ecológica: • Especies adaptadas el fuego. • Suelos resilientes. • Especies resistentes a la sequía. Capacidad de adaptación social: • Ordenación forestal. • Capacidad de extinción de incendios. • Sistemas de protección civil.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El fuego no entiende de límites administrativos, de forma que los incendios forestales que se inician en España pueden incidir en Portugal o Francia, y viceversa. Por otro lado, el humo, que afecta a la calidad del aire y a la morbi-mortalidad de las personas (Linares et al., 2018), es el principal efecto transfronterizo, no solo de incendios entre países vecinos sino entre países que están a grandes distancias, ya que el humo puede viajar movido por la circulación general (Sicard et al., 2019). El fuego afecta a zonas que proveen servicios recreativos, por lo que puede afectar a distintos territorios por los flujos de turistas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Territoriales	Todo el territorio español se ve afectado por este riesgo, aunque de manera desigual. El número de incendios y la superficie quemada disminuyen en la región mediterránea de España, mientras que, en el noroeste e interior del país, los incendios continúan siendo frecuentes. Asimismo, la ocurrencia de grandes incendios forestales con alta severidad se produce en todo el territorio, con tendencia a ser cada vez más frecuentes.
Sociales	La despoblación, el envejecimiento de la población rural y la marginalidad económica son factores que incrementan la vulnerabilidad. El hecho de que en las zonas rurales haya mayor superficie forestal las hace más propensas al fuego. La expansión urbana en áreas forestales (interfaces urbano-forestales: IUFs) ha aumentado la presión del fuego, al aumentar las fuentes de ignición.
Maladaptación	La planificación urbana y rural no contempla los beneficios de la vegetación —como la regulación térmica, la estética— sin integrar adecuadamente el análisis del riesgo de incendios forestales. Dado que los bosques fijan C, es frecuente que ciertos programas de mitigación del cambio climático promuevan reforestaciones masivas con el objetivo de aumentar la captura de carbono. Estas iniciativas a menudo se implementan sin una evaluación adecuada del riesgo de incendios forestales.
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo.

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales críticos pueden venir marcados por los que se establecen para el índice de peligro de incendios (FWI). Estos están definidos según el sistema europeo EFFIS en seis niveles: muy bajo (FWI < 5,2), bajo (5,2–11,2), moderado (11,2–21,3), alto (21,3–38), muy alto (38–50) y extremo (≥50). Entre 1970 y 2022, el FWI ha pasado de 21,3 a 36,4 en promedio en la zona mediterránea; el número de días con FWI muy alto o extremo se ha multiplicado casi por 39 veces en algunas zonas del sistema Ibérico (Orgambides-García et al., 2024).
Lock-in/Bloqueo	• Los efectos acumulativos de incendios repetidos por estar en zonas con alta frecuencia de focos de ignición, especialmente cuando se combinan con una alta severidad, conducen a la pérdida permanente de bosques, especialmente los de coníferas dependientes de regeneración por semillas (Eugenio & Lloret, 2006; Fernández-García et al., 2019). • Por otro lado, los cambios socioecológicos, el abandono rural, la transición de la vegetación hacia tipos más inflamables y la falta de una gestión coordinada del paisaje crean una situación de bloqueo tendente a favorecer los incendios. • Las zonas protegidas tienen tendencia a acumular combustible, dado que la gestión en ellas es baja, lo que hace que tengan una mayor propensión a albergar incendios grandes (Arellano-del-Verbo et al., 2023).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel nacional: • El Plan de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 identifica el riesgo de incendios. • Estrategia Forestal Española horizonte 2050 • Plan Forestal Español 2022-2032 • Orientaciones Estratégicas para la Gestión de Incendios Forestales en España • Plan Estatal de emergencia por Incendios Forestales A nivel autonómico/local: • Planes específicos para la prevención y extinción de incendios forestales. Ejemplos de proyectos recientes que incluyen medidas de adaptación son: • LIFE Montserrat: gestión silvopastoral en la montaña de Montserrat (Cataluña) para prevenir incendios y mejorar la biodiversidad. Se combinó el pastoreo controlado con técnicas forestales para reducir la carga de combustible vegetal. • LIFE Soria ForestAdapt: centrado en la provincia de Soria, integra estrategias de adaptación al cambio climático en los planes de gestión forestal para reducir el riesgo de incendios, entre otras perturbaciones. • LIFE Landscape Fire. Combinan el uso de quemas prescritas y pastoreo para reducir el combustible forestal, transformando áreas propensas a incendios en zonas más resistentes. Se han llevado a cabo acciones piloto en Andalucía y Cataluña. • Proyecto Interreg FIREPOCTEP+. Implementación de prácticas tradicionales como el pastoreo para reducir la carga de combustible vegetal en la región transfronteriza entre España y Portugal. • Proyecto INTERREG_SUDOE Open2Preserve. Este proyecto reúne a socios de Portugal, España y Francia con el objetivo de restaurar prácticas tradicionales de pastoreo para prevenir incendios forestales y promover la conservación de ecosistemas • Proyecto AGROFORes. Promueve el uso de ganado para el mantenimiento del paisaje y la reducción del riesgo de incendios en Castilla y León y Extremadura.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Otros aspectos analizados

Gobernanza de gestión del riesgo

La UE puede apoyar, coordinar y complementar las acciones de los Estados miembros en caso de catástrofes naturales, incluidos los incendios forestales. Esto se traduce en:

- Activación del Mecanismo de Protección Civil de la UE (UCPM), que permite enviar equipos, medios aéreos, expertos y material a un país afectado (incluso si no es miembro de la UE).
- Creación de la reserva estratégica rescEU, que incluye aviones y helicópteros de extinción, financiados en parte por la UE y disponibles para uso conjunto.
- Coordinación a través del Centro de Coordinación de Respuesta a Emergencias (ERCC).

La UE financia a los Estados miembros y regiones a través de:

- FEDER y Fondos de Cohesión: inversiones en prevención, infraestructuras, restauración post-incendio o equipamiento para bomberos.
- FEADER (Política Agraria Común): subvenciones para gestión forestal sostenible y reducción de combustibles.
- Programas como LIFE y HORIZON Europe también financian investigación aplicada y soluciones innovadoras para la gestión del riesgo de incendios.

La UE impulsa herramientas comunes de monitorización y alerta temprana:

- Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales (EFFIS).
- Copernicus Emergency Management Services: imágenes satelitales en tiempo real para seguimiento y cartografía.
- Apoyo a la formación, intercambio de buenas prácticas y cooperación transfronteriza, por ejemplo, entre regiones fronterizas de España y Portugal.

En el caso de España:

1. Las comunidades autónomas tienen la competencia principal en materia de gestión forestal, prevención y extinción de incendios. Esto incluye:

   · Planificación forestal y gestión del combustible.

   · Dotación y gestión de medios terrestres y aéreos regionales.

   · Elaboración de planes de prevención y de emergencias autonómicos.

   · Cada comunidad tiene su propio operativo forestal y cuerpo de agentes medioambientales

2. Competencias del Estado (Gobierno central). El Estado tiene competencias complementarias, de coordinación y apoyo, recogidas principalmente en la Ley 43/2003 de Montes y en la legislación de protección civil:

   · Coordinación general a través del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) y de Protección Civil (Interior).

   · Provisión de medios aéreos estatales del Ministerio (BRIF, aviones anfibios, helicópteros).

   · Activación del Plan Estatal de Protección Civil ante Incendios Forestales cuando los fuegos superan las capacidades autonómicas.

   · Apoyo logístico, financiero y técnico a las comunidades (ej. base de medios aéreos estatales en distintos territorios).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
	3. Coordinación entre administraciones: · Centro de Coordinación de la Información Nacional sobre Incendios Forestales (CCINIF) (https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/coordinacion-institucional.html) · Comité de Lucha contra Incendios Forestales (CLIF)
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación identificadas son específicas y adaptadas a la gestión del riesgo de incendios para evitar la pérdida de masas forestales. • La gestión integrada del fuego contempla el uso multifuncional del paisaje —incluyendo prácticas agrícolas y ganaderas que generan discontinuidades vegetales— junto con estrategias de prevención, respuesta y recuperación. Este enfoque incorpora además dimensiones ecológicas, sociales y culturales, promoviendo una gestión adaptativa y ecológica del fuego (Oliveras Menor et al., 2025). • La gestión de combustibles a través de quemas prescritas, aclareos estratégicos y mantenimiento de mosaicos de cortafuegos puede reducir la intensidad del fuego y promover la supervivencia de especies clave (Duguy et al., 2007; P. M. Fernandes et al., 2022; Fernández-Guisuraga & Fernandes, 2024).
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Impacto del riesgo en la descarbonización: Negativo: Los incendios forestales emiten grandes cantidades de CO_2. La pérdida de cobertura vegetal por incendios reduce la capacidad de los ecosistemas para secuestrar carbono a medio plazo. Retroalimentación climática negativa por el efecto albedo de las superficies carbonizadas. • Impacto de la descarbonización en el riesgo: Negativo: La reforestación (no gestionada) y la biomasa como medidas de descarbonización pueden aumentar la carga de combustible y, por tanto, el riesgo de incendios. La promoción de zonas protegidas o la expansión de renovables a costa de territorios agrícolas o forestales puede acelerar el abandono rural al desplazar actividades agrícolas o ganaderas tradicionales y limitar el uso del suelo por parte de la población local (Poggi et al., 2018).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Déficits de información	• Existe una gran incertidumbre sobre el riesgo de incendio y la pérdida de masas forestales bajo distintos escenarios climáticos, especialmente cuando se desciende a escalas regionales o locales. • Débil integración entre modelos de clima, vegetación y fuego: Pocas veces se modelan conjuntamente los efectos del cambio climático, el tipo de vegetación (estructura, continuidad, inflamabilidad) y el régimen de incendios. Esto limita la capacidad de anticipar la dinámica de degradación o colapso de masas forestales. Además, los modelos existentes tienden a simplificar la complejidad del mosaico forestal mediterráneo. • Escasez de datos históricos de calidad y larga duración: Muchas regiones no cuentan con series temporales largas y continuas ni de los perímetros de incendios ni de la severidad del fuego, lo que dificulta calibrar modelos o validar predicciones. La falta de armonización en los datos (distintas metodologías, escalas, sensores) añade incertidumbre. • Falta de escenarios de gestión adaptativa: Muchos modelos no incorporan diferentes estrategias de gestión forestal, restauración o usos tradicionales del territorio, cuando en realidad la forma en que se gestione el paisaje afectará enormemente su vulnerabilidad futura. La ausencia de estos escenarios limita la capacidad de planificación. • Déficit en la consideración de factores humanos y socioeconómicos: Los incendios no dependen solo del clima, sino también del abandono rural, expansión de la IUF y cambios en los usos del suelo. Pocos escenarios climáticos integran esas dinámicas humanas.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5.6. RC4.6 Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos (regulación del ciclo hidrológico, protección frente a la erosión, valores recreativos y de conservación) de los bosques debido a los cambios del clima

La evaluación del impacto del cambio climático sobre algunos de los principales servicios ecosistémicos (p. ej. regulación del ciclo hidrológico, protección frente a la erosión, valor recreativo o de conservación, entre otros valores no comerciales) será objeto del capítulo sobre Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas; RC3.4 Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas), en el que se considera un riesgo clave de carácter transversal que engloba los impactos sobre la funcionalidad de los ecosistemas, incluidos los forestales, y la consiguiente pérdida de servicios ecosistémicos. Dado el solapamiento de estos servicios entre los bosques y otros tipos de ecosistemas terrestres, y la dificultad de separarlos en muchos casos (p. ej. el efecto sobre los flujos hídricos se suele medir en cuencas más o menos grandes, sin diferenciar el tipo de vegetación que tienen), en este capítulo se ha realizado una evaluación más limitada de este riesgo, centrada en la medida de lo posible en los bosques. Se considera que este riesgo es clave ya que afecta a toda la geografía española y al conjunto de la población que, directa o indirectamente, vive de los bosques. La integridad de los bosques es determinante de los servicios que prestan, como la regulación del ciclo hidrológico, la generación y pérdida de suelo o los valores recreativos y de conservación (Reid *et al.*, 2005).

La capacidad de los ecosistemas forestales para regular el ciclo hidrológico está estrechamente relacionada con la cobertura vegetal. En general, a mayor cobertura forestal, menor escorrentía superficial (Zhang *et al.*, 2017). No obstante, el efecto de la vegetación varía en función de las especies presentes y del tipo de clima, siendo menos pronunciado en zonas con baja precipitación (Brown *et al.*, 2005; Filoso *et al.*, 2017; Selkimäki *et al.*, 2012). El papel de la cubierta vegetal en la regulación hidrológica se hace especialmente patente cuando una perturbación la elimina, como cuando ocurre un incendio o una corta, lo que produce un significativo aumento de la escorrentía (Edeso *et al.*, 1999; Versini *et al.*, 2013). Además, la cobertura forestal contribuye a reducir la variabilidad anual de la escorrentía, especialmente durante los periodos de estiaje (Brown *et al.*, 2005).

Asimismo, la vegetación forestal desempeña un papel clave en la reducción de la erosión (Chirino *et al.*, 2006; García-Ruiz *et al.*, 2013), aunque este efecto varía según la especie arbórea, entre otros factores (Cerdà *et al.*, 2021; Cerdà *et al.*, 2017). Cabe destacar que la mayor parte de

la erosión se concentra durante unos pocos episodios de lluvia extrema, en los que una buena cobertura resulta crucial (Milazzo *et al.*, 2022). Esta capacidad de los bosques para controlar la erosión, regular los flujos hídricos y reducir el peligro de inundación ha sido el objetivo de muchas de las repoblaciones llevadas a cabo en España (Vadell *et al.*, 2016).

Buena parte de los bosques españoles ha estado históricamente sometida a una explotación continuada, y solo recientemente la conservación ha pasado a ser un objetivo prioritario (Valbuena-Carabaña *et al.*, 2010). La madurez del bosque es un factor clave para determinar su nivel de integridad y, en consecuencia, su valor tanto para la conservación como para la provisión de otros servicios no comerciales (Cannon *et al.*, 2022; Sabatini *et al.*, 2018). De hecho, el conjunto de servicios ecosistémicos que ofrece un bosque es determinante de su valoración global (Taye *et al.*, 2021).

En España, la superficie de bosque maduro o primario —aquellos que no han sufrido presiones antrópicas significativas durante largos periodos de tiempo— es escasa (Martin-Benito *et al.*, 2021; Tíscar & Lucas-Borja, 2016; Valbuena-Carabaña *et al.*, 2010). Al margen de las plantaciones, los bosques naturales difieren en su índice de madurez. Los mayores valores se dan en los bosques atlánticos, especialmente en los de caducifolios, seguidos por los de coníferas y, en menor medida, por los bosques mediterráneos (Cos *et al.*, 2025).

La productividad forestal, la cubierta vegetal y el clima están estrechamente vinculados. La continuidad del bosque disminuye conforme lo hace la precipitación, hasta ser sustituido en climas semiáridos por matorrales. Igualmente, la presencia de bosque maduro está estrechamente vinculada a factores como la temperatura y la precipitación: son menos frecuentes en las zonas cálidas y secas, debido a su menor productividad y a una mayor incidencia de incendios forestales, entre otras perturbaciones (Cos *et al.*, 2025; Sabatini *et al.*, 2018).

La cobertura arbórea ha aumentado en España en las últimas décadas impulsada tanto por el abandono de tierras agrícolas como por los programas de reforestación (Lasanta *et al.*, 2021; Vadell *et al.*, 2016). Este incremento ha contribuido a una reducción de la escorrentía superficial (Beguería *et al.*, 2003), más acusada en las zonas más secas, donde a este efecto se le ha podido sumar el del cambio climático (Senent-Aparicio *et al.*, 2018). La madurez de los bosques ha aumentado también, como lo muestra el aumento del diámetro medio de los árboles o de la riqueza por unidad de superficie (Astigarraga *et al.*, 2020). Consecuentemente, sus valores han aumentado en consonancia, todo ello a pesar del cambio climático sufrido.

La principal vulnerabilidad de los bosques españoles para los servicios que aquí se contemplan es su juventud (Vayreda *et al.*, 2012). La sensibilidad a la variabilidad climática es mayor

en los árboles jóvenes, mientras que los individuos adultos presentan una resiliencia superior, incluso ante escenarios de cambio climático (Colangelo *et al.*, 2021). Además, muchos de ellos se desarrollan en climas secos y en suelos poco desarrollados, pedregosos y con altas pendientes, lo que determina la capacidad de regular sus funciones, como la del ciclo del agua (Selkimäki *et al.*, 2012).

El clima en España ha experimentado un proceso de aridificación en las últimas décadas (Arellano *et al.*, 2025), fundamentalmente por el aumento del déficit de la presión de vapor debido al calentamiento observado, más que por una disminución en las precipitaciones (Vicente-Serrano *et al.*, 2025). Se prevé que con el cambio climático disminuyan las precipitaciones, particularmente bajo escenarios de altas emisiones, y siga aumentando la temperatura, lo que magnificará la aridificación (Seneviratne *et al.*, 2021). Esto reducirá la productividad de los bosques (Herraiz *et al.*, 2023) y afectará a su estructura, incluida la cobertura, particularmente en las zonas más secas (Carnicer *et al.*, 2011; Vayreda *et al.*, 2012). La escorrentía disminuirá, más en las cuencas con clima húmedo que seco (Pulido-Velázquez *et al.*, 2021), y cuanto mayores sean las emisiones de gases de efecto invernadero (Molina-Navarro *et al.*, 2025; Oduor *et al.*, 2023; Senent-Aparicio *et al.*, 2021). No obstante, existen incertidumbres en estos cálculos, toda vez que el efecto dominante es el del cambio en la precipitación debido a su descenso previsto, y no al del cambio en la cobertura vegetal, que no se incluye en estas simulaciones.

Las dinámicas sucesionales del bosque hacia estados más maduros y, por tanto, más valiosos vienen condicionadas por la colonización y extinción de las especies. El clima, la dispersión y la competencia interespecífica son determinantes de estos procesos. Las especies planifolias de hoja caduca son más sensibles a la precipitación que las coníferas, probablemente por su menor tolerancia a la sequía, mientras que estas últimas son menos tolerantes a la competencia que aquellas (García-Valdés *et al.*, 2015). La sequía representa un factor limitante particularmente relevante en especies situadas en el extremo meridional de su área de distribución, donde las condiciones climáticas son más restrictivas (Carnicer *et al.*, 2011; Sánchez-Salguero *et al.*, 2012). Las especies difieren también en su capacidad de respuesta a las perturbaciones, incluido el fuego (García-Valdés *et al.*, 2020; Lloret *et al.*, 2022; Rodrigues *et al.*, 2024). Esto indica que habrá cambios en las dinámicas sucesionales de los bosques, donde los efectos negativos serán dominantes, lo que hace probable que se produzca una pérdida de valores. No obstante, el tipo de cambio y su magnitud variarán según zonas (Ding *et al.*, 2016; Hanewinkel *et al.*, 2013).

La gestión forestal puede ayudar a contrarrestar parcialmente los efectos del cambio climático. Sin embargo, no hay un único tipo de gestión para conseguir todos los objetivos. Por ello, habrá que diferenciar entre tipos de gestión según sus objetivos sean hidrológicos, de conservación de suelos o de conservación de la biodiversidad, entre otros (Selkimäki *et al.*, 2020).

6. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector. Por ello se ha desarrollado un análisis específico de riesgos complejos (véase el capítulo Riesgos complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad, se ha desarrollado un modelo basado en la teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí. Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros. Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada centralidad de cercanía muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la centralidad de intermediación revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial del sector Forestal, la desertificación y la caza y pesca continental se centra en cuatro de los riesgos clave (RC4.1, RC4.2, RC4.4, RC4.5), por presentar algún grado de intermediación o cercanía. *El riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima* (RC 4.1) tiene un grado de entrada de 6 y un grado de salida de 11 (**Figura 12**).

En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de múltiples ámbitos sectoriales como Agua y recursos hídricos (RC2.1), Patrimonio natural (RC3.1) (RC3.3) y el propio Sector forestal, la desertificación y la caza y pesca continental (RC4.2) (RC4.4) (RC4.5).

En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como Agua y recursos hídricos (RC2.2) (RC2.3), Patrimonio natural (RC3.1) (RC3.3) (RC3.4), el propio Sector forestal (RC4.2) (RC4.3) (RC4.4) (RC4.5), Turismo (RC12.3) y Paz, seguridad y cohesión social (RC14.1).

El riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema (RC4.2), tiene un grado de entrada 8 y de salida 13 (**Figura 13**).

En cuanto a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de múltiples ámbitos sectoriales, como los relacionados con el Agua y recursos hídricos (RC2.1, RC2.2), el Patrimonio natural (RC3.1, RC3.3, RC3.4) y el propio Sector forestal, la desertificación y la caza y pesca continental (RC4.1, RC4.4, RC4.5).

Por lo que respecta al grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a diversos sectores, como Agua y recursos hídricos (RC2.2, RC2.3), Patrimonio natural (RC3.1, RC3.2, RC3.3, RC3.4), el propio Sector forestal (RC4.1, RC4.3, RC4.4), Costas (RC6.1), Turismo (RC12.3), Sistema financiero (RC13.4) y Paz, seguridad y cohesión social (RC14.1).

El riesgo de Desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales (RC4.4) tiene un grado de entrada de 8 y de salida 16 (**Figura 14**).

En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de múltiples ámbitos sectoriales, como Agua y recursos hídricos (RC2.1, RC2.2), Patrimonio natural (RC3.1, RC3.3, RC3.4) y el propio Sector forestal, la desertificación y la caza y pesca continental (RC4.1, RC4.2, RC4.5).

En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como Agua y recursos hídricos (RC2.1, RC2.2, RC2.3), Patrimonio natural (RC3.1, RC3.2, RC3.3, RC3.4), el propio Sector forestal (RC4.1, RC4.2, RC4.3, RC4.5), Costas (RC5.3), Turismo (RC12.3), Sistema financiero (RC13.3, RC13.4) y Paz, seguridad y cohesión social (RC14.1).

El riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático (RC4.5) tiene un grado de entrada de 4 y de salida de 15 (**Figura 15**). En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de múltiples ámbitos sectoriales, como Agua y recursos hídricos (RC2.1), Patrimonio natural (RC3.1) y el propio Sector forestal, la desertificación y la caza y pesca continental (RC4.1, RC4.4).

En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como Salud humana (RC1.3), Agua y recursos hídricos (RC2.2), Patrimonio natural (RC3.1, RC3.3, RC3.4), el propio Sector forestal (RC4.1, RC4.2, RC4.3, RC4.4), Costas (RC5.3), Patrimonio cultural (RC8.3), Turismo (RC12.3), Sistema financiero (RC13.3, RC13.4) y Paz, seguridad y cohesión social (RC14.1).

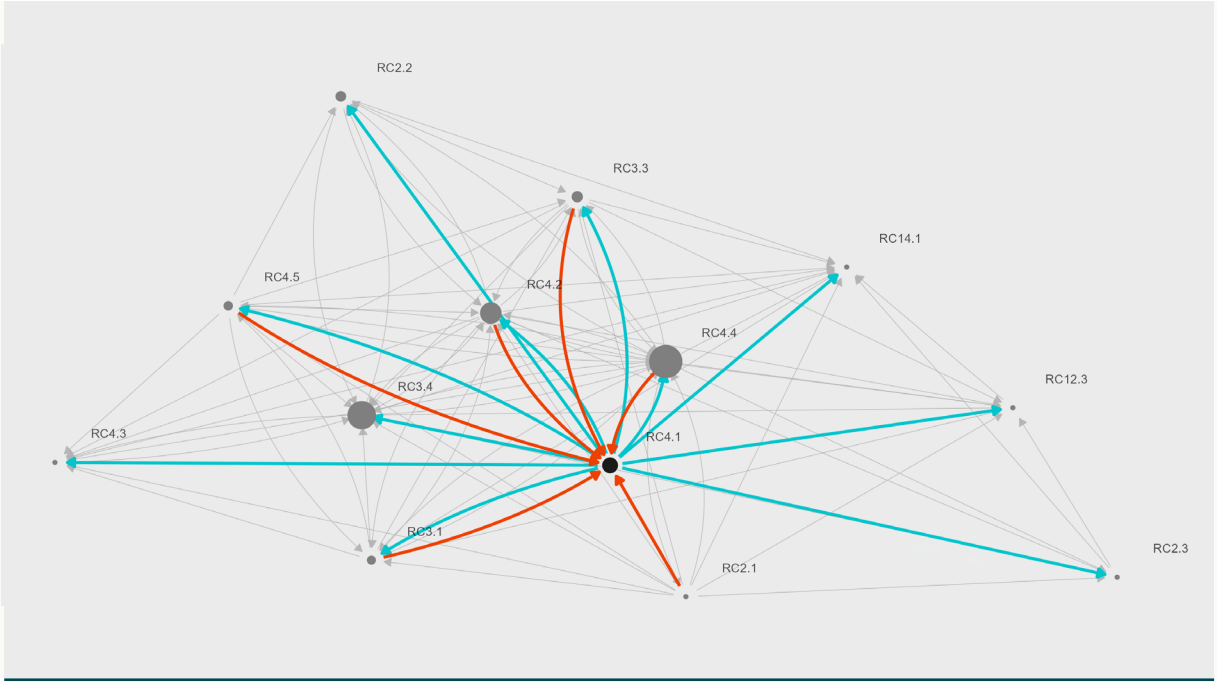


Figura 12. Grafo del riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima (RC 4.1).
Fuente: capítulo de riesgos complejos.

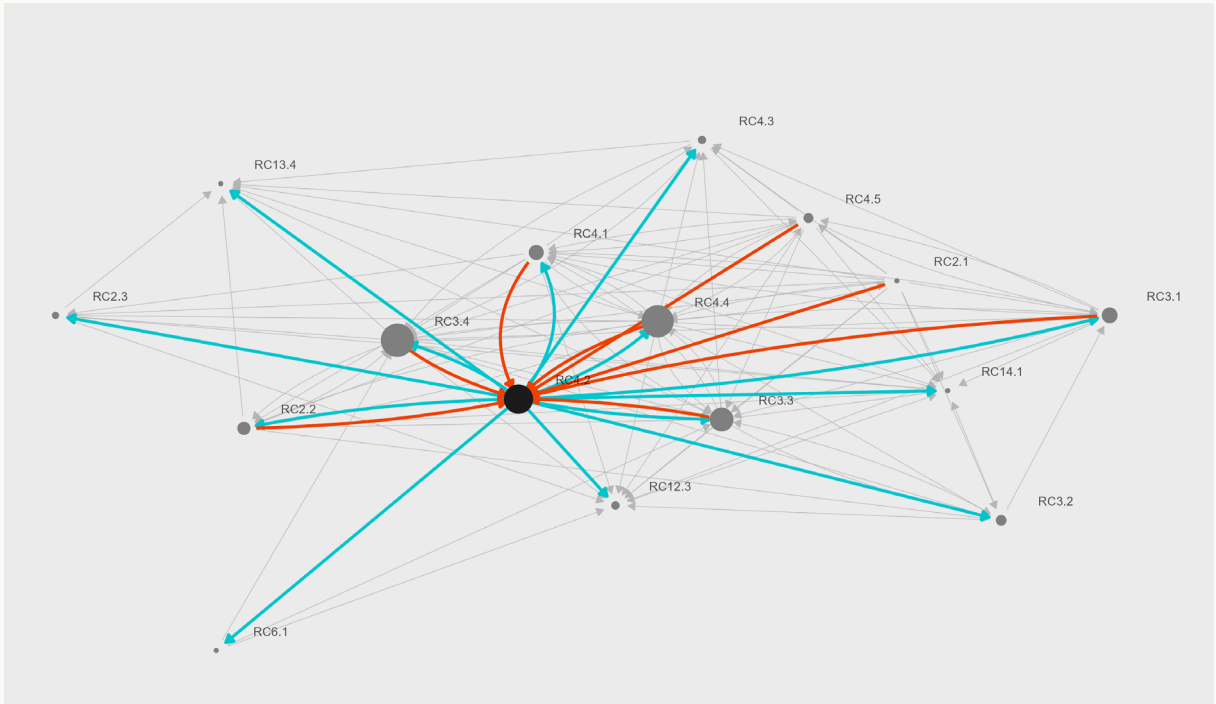


Figura 13. Grafo del riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema (RC4.2). Fuente: Capítulo de riesgos complejos.

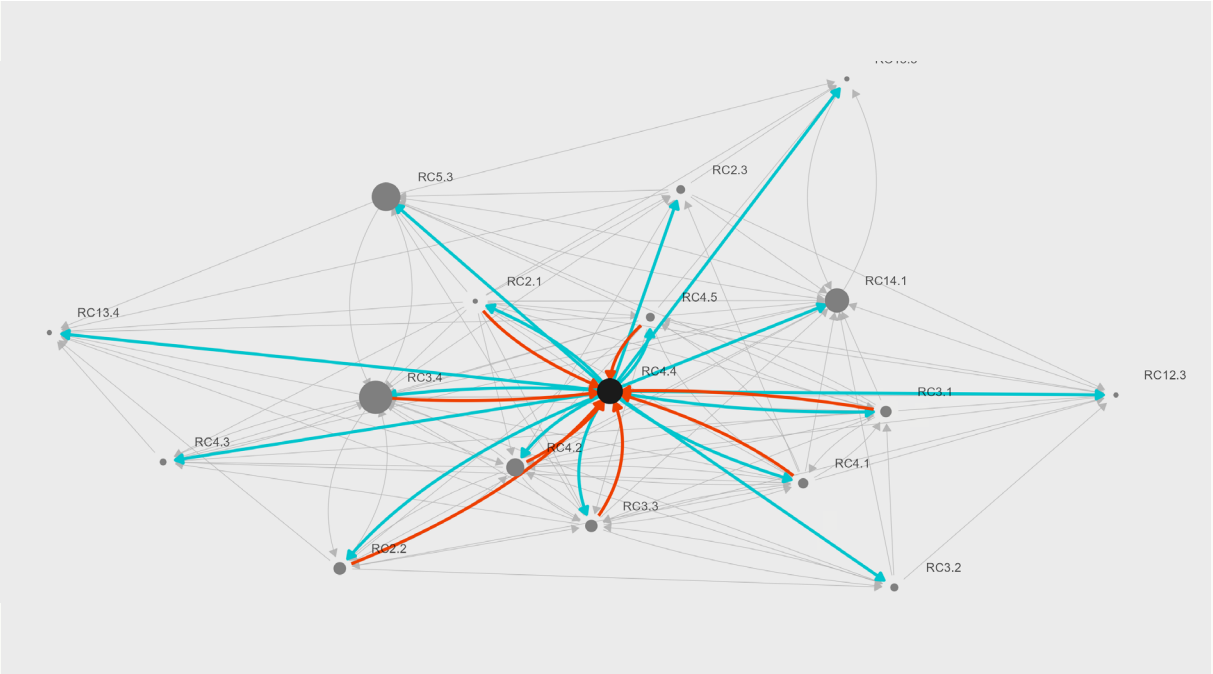


Figura 14. Grafo del riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales (RC4.4). Fuente: Capítulo de riesgos complejos.

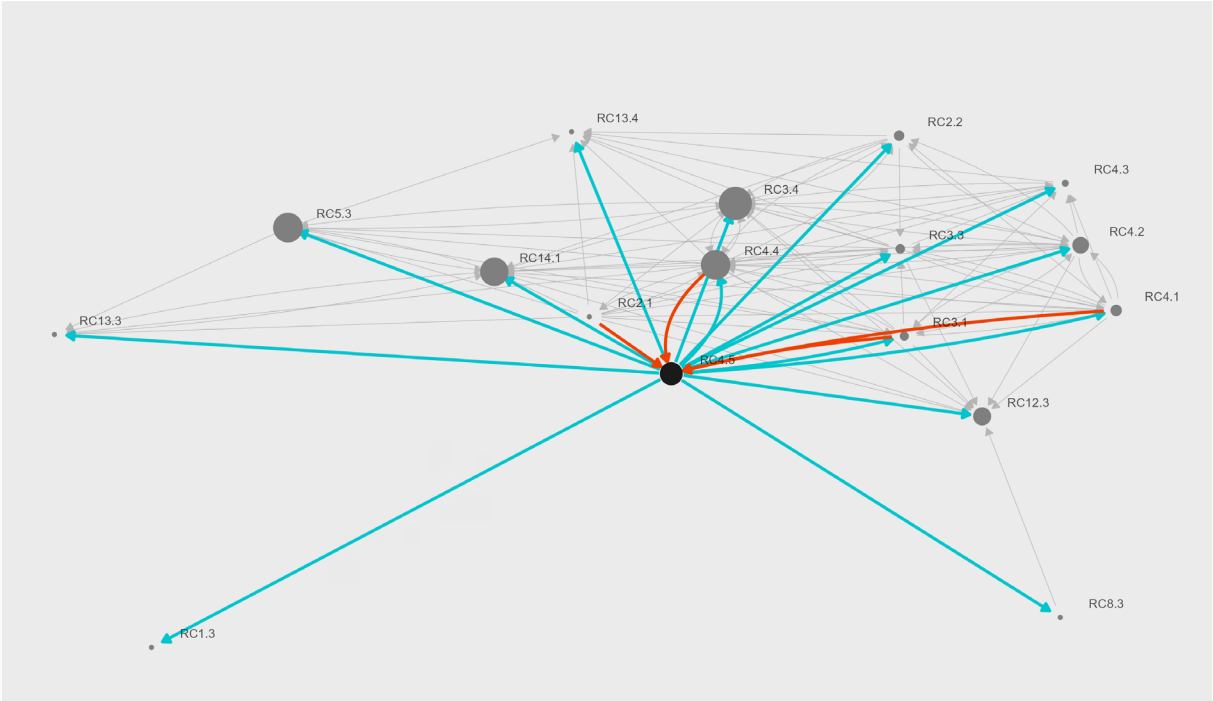


Figura 15. Grafo del riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático (RC4.5). Fuente: Capítulo de riesgos complejos.

Las métricas de los riesgos clave se resumen en la **Tabla 2**. Es importante destacar que las categorías utilizadas fueron definidas a partir de dos criterios distintos. Por un lado, los grados de entrada y salida se clasificaron en dos: de 0 a <10 se considera "bajo", y mayor o igual a 10 se considera "alto". Por otro lado, las métricas de cercanía e intermediación se agruparon aplicando umbrales fijos, por lo que los valores se distribuyen de la siguiente manera:

- Intermediación:
  > Baja: 0 – 50
  > Media: >50 – 200
  > Alta: >200

- Cercanía:
  > Baja: 0 – 0,005
  >Media: >0,005 – 0,009
  > Alta: >0,0091

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial del sector Forestal, la desertificación y la caza y pesca continental.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC4.1 Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima	Bajo ▼	Alto ▲	Bajo ▼	Alto ▲
RC4.2 Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema	Bajo ▼	Alto ▲	Medio –	Alto ▲
RC4.3 Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Medio –
RC4.4 Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales	Bajo ▼	Alto ▲	Medio –	Alto ▲
RC4.5 Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático	Bajo ▼	Alto ▲	Medio –	Alto ▲

7. Caso de estudio

El caso de estudio "LIFE Soria ForestAdapt: Adaptación sostenible al cambio climático de la gestión del sector forestal" ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito forestal. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Life Soria ForestAdapt: Adaptación sostenible al cambio climático de la gestión del sector forestal

Objeto

Los bosques mediterráneos funcionan como sumideros de carbono, estabilizan los suelos y regulan el ciclo del agua, ayudando a mitigar los efectos del cambio climático. Sin embargo, el aumento de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones, junto al abandono rural, han provocado una mayor vulnerabilidad ante incendios, plagas y sequías. Para hacer frente a estos desafíos, es fundamental combinar el conocimiento científico con una gestión activa del territorio. La diversificación de las estructuras forestales y la restauración de paisajes más heterogéneos ayudan a reducir el riesgo de incendios y plagas, al tiempo que mejoran la capacidad de los bosques para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas.

Descripción:

Se trata de un proyecto multisectorial centrado en la integración del conocimiento científico (monitoreo climático, dendrocronología, bioindicadores),

Ámbito Territorial

- Castilla y León, provincia de Soria.

Sector(es)/subsector

- Forestal.

Entidad(es) del proyecto

- Fundación Global Nature (coordinadora), Universidad de Valladolid, Junta de Castilla y León, Fundación CESEFOR, Fundación Empresa y Clima, otras colaboraciones con administraciones, propietarios y empresas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

herramientas digitales (FAT: Forest Adapt Tool y Fitoclim), planificación adaptativa y colaboración público-privada. Se evalúa la vulnerabilidad forestal y se definen estrategias de manejo personalizadas. El enfoque promueve una gestión resiliente, con planificación a largo plazo y participación de actores locales.

Aspectos destacables

Proyecto pionero en adaptar la gestión forestal al cambio climático desde una base científica sólida. Incorpora la adaptación en planes de ordenación forestal y certificación sostenible. Fortalece la gobernanza forestal y la resiliencia socioeconómica rural. Identifica barreras estructurales como la falta de planificación en los montes privados y la dificultad de involucrar a propietarios ausentes.

Escala

- Provincial – 15 montes piloto en Soria.

Riesgo(s)

- Vulnerabilidad creciente de los bosques frente a incendios, plagas y sequías debido al cambio climático y pérdida de resiliencia por homogeneización del paisaje.

Enlaces

- www.soriaforestadapt.es
- https://soriaforestadapt.es/herramienta/
- https://soriaforestadapt.es/fitoclim/

8. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

Disponibilidad de la información

España cuenta con una amplia disponibilidad de datos sobre el sector forestal, incluyendo información procedente de los inventarios forestales nacionales, estadísticas del INE, datos sobre suelos y patrimonio natural, entre otros. Esta base informativa constituye un recurso valioso para la planificación y la gestión forestal. La disponibilidad de información actualizada es esencial para comprender las dinámicas recientes y para diseñar estrategias eficaces frente a los riesgos climáticos que afectan la composición y estructura de los bosques. Por ello, sería recomendable reforzar los esfuerzos de actualización y accesibilidad de estas bases de datos, en línea con las buenas prácticas de transparencia y gestión adaptativa. Las bases de datos de incendios forestales a nivel nacional, que han sido un modelo desde hace décadas, deben actualizarse.

Desequilibrios espaciales y de enfoque temático

Dado que la gestión de los recursos forestales está en manos de las CC.AA., algunas de ellas han profundizado en el estudio de los bosques más que otras, dependiendo de la importancia de dicho sector en su comunidad. Por ejemplo, la comunidad autónoma de Cataluña dispone de centros forestales específicos con inventarios forestales propios. Por otro lado, en temas como la erosión o la desertificación hay más datos en las comunidades del sureste peninsular, debido a su carácter semiárido.

Uso desigual y limitado de escenarios climáticos

La mayoría de los estudios revisados emplean escenarios climáticos basados en simulaciones utilizadas por el IPCC —por ejemplo, SRES, CMIP5 y, en menor medida, CMIP6—. Muchos trabajos se centran en escenarios de altas emisiones, como el RCP8.5, que actualmente se consideran menos probables dado el rumbo de las políticas climáticas globales tras el Acuerdo de París. Por ello, se requieren más simulaciones que utilicen los escenarios actualizados de CMIP6, que pueden conseguir una mejor representación de las trayectorias socioeconómicas y de las políticas climáticas actuales.

Carencia de enfoques integrados y dinámicos

Una limitación metodológica relevante en la evaluación del riesgo es la escasa integración de sus componentes (peligro, exposición, vulnerabilidad) en evaluaciones conjuntas y dinámicas. La mayoría de los estudios tienden a centrarse en uno o dos de estos componentes, frecuentemente en el peligro, sin incorporar modelos que reflejen las interacciones entre factores sociales, ecológicos y climáticos. Como consecuencia, las evaluaciones resultantes presentan una gran incertidumbre. Además, debido a esta falta de un enfoque integrado, muchos modelos asumen que determinados factores de cambio permanecen constantes, lo cual no refleja la complejidad y variabilidad del contexto real. Asimismo, la falta de continuidad temporal en algunos estudios impide analizar las trayectorias o las transiciones del riesgo a lo largo del tiempo.

Baja desagregación de la vulnerabilidad social

La dimensión social del riesgo, aunque reconocida como clave, sigue poco desarrollada metodológicamente. La vulnerabilidad social se analiza de manera agregada, sin suficiente desagregación por edad, renta, género, tipo de propiedad o grado de aislamiento territorial. Esto impide identificar adecuadamente grupos sociales o territorios más expuestos o vulnerables al cambio climático, lo que limita la efectividad de las estrategias adaptativas.

Escenarios de adaptación aún incipientes

Los escenarios de adaptación específicos para los riesgos del sector forestal son aún limitados. En general, suelen centrarse en medidas de gestión calificadas como sostenibles, pero sin una definición clara de los objetivos que se persiguen. Para avanzar en una gestión forestal verdaderamente adaptativa se requieren escenarios de gestión que integren dinámicamente los factores ecológicos, climáticos y sociales, que consideren a su vez la multifuncionalidad del bosque y sus dinámicas a largo plazo.

9. Referencias

- Abatzoglou, J. T., Williams, A. P., Boschetti, L., Zubkova, M., & Kolden, C. A. (2018). Global patterns of interannual climate–fire relationships. *Global Change Biology, 24*(11), 5164-5175. https://doi.org/10.1111/gcb.14405
- Abatzoglou, J.T., Kolden, C.A., Cullen, A.C., Sadegh, M., Williams, E.L., Turco, M., & Jones, M. (2025). Climate change has increased the odds of extreme regional forest fire years globally. Nature Communications 16, 6390. https://doi.org/10.1038/s41467-025-61608-1
- Adame, P., Cañellas, I., Moreno-Fernández, D., Packalen, T., Hernández, L., & Alberdi, I. (2020). Analyzing the joint effect of forest management and wildfires on living biomass and carbon stocks in Spanish forests. *Forests, 11*(11), 1219.
- Aguirre, A., del Río, M., & Condés, S. (2019). Productivity Estimations for Monospecific and Mixed Pine Forests along the Iberian Peninsula Aridity Gradient. *Forests, 10*(5), 430. https://www.mdpi.com/1999-4907/10/5/430
- Akyol, A., Örücü, Ö. K., & Arslan, E. S. (2020). Habitat suitability mapping of stone pine (Pinus pinea L.) under the effects of climate change. *Biologia, 75*(12), 2175-2187. https://doi.org/10.2478/s11756-020-00594-9
- Alados, C. L., Puigdefábregas, J., & Martínez-Fernández, J. (2011). Ecological and socio-economical thresholds of land and plant-community degradation in semi-arid Mediterranean areas of southeastern Spain. *Journal of Arid Environments, 75*(12), 1368-1376.
- Albaladejo, J., Ortiz, R., Garcia-Franco, N., Navarro, A. R., Almagro, M., Pintado, J. G., & Martínez-Mena, M. (2013). Land use and climate change impacts on soil organic carbon stocks in semi-arid Spain. *Journal of Soils and Sediments, 13*(2), 265-277. https://doi.org/10.1007/s11368-012-0617-7
- Alberdi, I., Moreno-Fernández, D., Cañellas, I., Adame, P., & Hernández, L. (2020). Deadwood stocks in south-western European forests: Ecological patterns and large scale assessments. *Science of The Total Environment, 747*, 141237. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141237
- Albert-Belda, E., Hinojosa, M. B., Laudicina, V. A., & Moreno, J. M. (2023). Soil biogeochemistry and microbial community dynamics in Pinus pinaster Ait. forests subjected to increased fire frequency. *Science of The Total Environment, 858*, 159912. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159912
- Albertos, S. M., & Martínez, S. G. (2000). Conservación de recursos genéticos de coníferas en España. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales, 9*(2), 151-184.
- Alday, J. G., Martínez de Aragón, J., de-Miguel, S., & Bonet, J. A. (2017). Mushroom biomass and diversity are driven by different spatio-temporal scales along Mediterranean elevation gradients. *Scientific Reports, 7*(1), 45824. https://doi.org/10.1038/srep45824
- Alías, J. C., Mejías, J. A., & Chaves, N. (2022). Effect of Cropland Abandonment on Soil Carbon Stock in an Agroforestry System in Southwestern Spain. *Land, 11*(3), 425.

- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., Mcdowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhangm, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J. H., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A., & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management, 259*(4), p. 660 - p. 684. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001
- Álvarez-Álvarez, P., Aviñoa-Arias, A., Díaz-Varela, E., López-Bao, J. V., & Pérez-Girón, J. C. (2025). Impact of climate change over distribution and potential range of chestnut in the Iberian Peninsula [Original Research]. *Frontiers in Forests and Global Change, Volume 8 - 2025*. https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1561027
- Amatulli, G., Camia, A., & San-Miguel-Ayanz, J. (2013). Estimating future burned areas under changing climate in the EU-Mediterranean countries. *Science of The Total Environment, 450*, 209-222.
- Ameztegui, A., Coll, L., Brotons, L., & Ninot, J. M. (2016). Land-use legacies rather than climate change are driving the recent upward shift of the mountain tree line in the Pyrenees. *Global Ecology and Biogeography, 25*(3), 263-273. https://doi.org/10.1111/geb.12407
- Ammer, C. (2019). Diversity and forest productivity in a changing climate. *New Phytologist, 221*(1), 50-66.
- Andivia, E., Madrigal-González, J., Villar-Salvador, P., & Zavala, M. A. (2018). Do adult trees increase conspecific juvenile resilience to recurrent droughts? Implications for forest regeneration. *Ecosphere, 9*(6), e02282. https://doi.org/10.1002/ecs2.2282
- Angulo, E., Ballesteros-Mejia, L., Novoa, A., Duboscq-Carra, V. G., Diagne, C., & Courchamp, F. (2021). Economic costs of invasive alien species in Spain. *NeoBiota, 67*, 267-297.
- Angulo-Martínez, M., & Beguería, S. (2012). Trends in rainfall erosivity in NE Spain at annual, seasonal and daily scales, 1955–2006. *Hydrology and Earth System Sciences, 16*(10), 3551-3559.
- Anthesis Lavola. (2021). *Estudio sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector de la caza y la pesca continental en España – Documento metodológico*
- Aparício, B. A., Santos, J. A., Freitas, T. R., Sá, A. C. L., Pereira, J. M. C., & Fernandes, P. M. (2022). Unravelling the effect of climate change on fire danger and fire behaviour in the Transboundary Biosphere Reserve of Meseta Ibérica (Portugal-Spain). *Climatic Change, 173*(1), 5. https://doi.org/10.1007/s10584-022-03399-8
- Appiagyei, B. D., Belhoucine-Guezouguli, L., Bessah, E., Morsli, B., & Fernandes, P. A. M. (2022). A review on climate change impacts on forest ecosystem services in the Mediterranean Basin. *Journal of Landscape Ecology, 15*(1), 1-26.
- Arellano, B., Zheng, Q., & Roca, J. (2025). Analysis of Climate Change Effects on Precipitation and Temperature Trends in Spain. *Land, 14*(1), 85. https://www.mdpi.com/2073-445X/14/1/85
- Arellano-del-Verbo, G., Urbieta, I. R., & Moreno, J. M. (2023). Large-fire ignitions are higher in protected areas than outside them in West-Central Spain. *Fire, 6*(1), 28.
- Arlinghaus, R., Lorenzen, K., Johnson, B. M., Cooke, S. J., y Cowx, I. G. (2016). *Management of freshwater fisheries: Addressing habitat, people and fishes. In J. F. Craig (Ed.), Freshwater fisheries ecology (pp. 557–579). Wiley-Blackwell.*

- Astigarraga, J., Andivia, E., Zavala, M. A., Gazol, A., Cruz-Alonso, V., Vicente-Serrano, S. M., & Ruiz-Benito, P. (2020). Evidence of non-stationary relationships between climate and forest responses: Increased sensitivity to climate change in Iberian forests. *Global Change Biology, 26*(9), 5063-5076. https://doi.org/10.1111/gcb.15198
- Ayllón, D., Nicola, G. G., Elvira, B., & Almodóvar, A. (2021). Climate change will render size-selective harvest of cold-water fish species unsustainable in Mediterranean freshwaters. *Journal of Applied Ecology, 58*(3), 562-575. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13805
- Azcárate, F. M., Seoane, J., & Silvestre, M. (2023). Factors affecting pine processionary moth (Thaumetopoea pityocampa) incidence in Mediterranean pine stands: A multiscale approach. *Forest Ecology and Management, 529*, 120728. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120728
- Azzopardi, B., Balzan, M. V., Cherif, S., Doblas-Miranda, E., dos Santos, M., Dobrinski, P., Falder, M., Hassoun, A. E. R., Giupponi, C., & Koubi, V. V. (2020). Climate and environmental change in the Mediterranean basin–current situation and risks for the future. First Mediterranean assessment report.
- Badia-Perpinyá, A., & Pallares-Barbera, M. (2006). Spatial distribution of ignitions in Mediterranean periurban and rural areas: the case of Catalonia. *International Journal of Wildland Fire, 15*(2), 187-196. https://doi.org/10.1071/WF04008
- Bai, Z., Russ, J. D., Mayr, K. F., & Dent, D. (2025). How is Gaia doing? Trends in global land degradation and improvement. *Ambio*. https://doi.org/10.1007/s13280-025-02179-9
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E. G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M. C., Symrnioudis, I., Watt, A. D., & Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology, 8*(1), 1-16. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x
- Balzan, M. V., Hassoun, A. E. R., Aroua, N., Baldy, V., Dagher, M. B., Branquinho, C., Dutay, J.-C., El Bour, M., Médail, F., & Mojtahid, M. (2020). First Mediterranean Assessment Report–Chapter 4: Ecosystems. *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin-Current Situation and Risks for the Future*, 323-468.
- Barbero-Sierra, C., Marques, M.-J., & Ruíz-Pérez, M. (2013). The case of urban sprawl in Spain as an active and irreversible driving force for desertification. *Journal of Arid Environments, 90*, 95-102.
- Barrio, M., Loureiro, M., & Chas, M. L. (2007). Aproximación a las pérdidas económicas ocasionadas a corto plazo por los incendiosforestales en Galicia en 2006. *Economía Agraria y Recursos Naturales, 7(14)*, 45-64.
- Bastias, C. C., Rodríguez Castilla, G., Salazar Zarzosa, P., Díaz Herraiz, A., González Herranz, N., Ruiz-Benito, P., Barrón, V., Quero Pérez, J. L., & Villar, R. (2025). Differential aridity-induced variations in ecosystem multifunctionality between Iberian Pinus and Quercus Mediterranean forests. *Ecological Indicators, 173*, 113411. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113411

- Battisti, A. (2006). Insect Populations In Relation To Environmental Change In Forests Of Temperate Europe. In *Invasive Forest Insects, Introduced Forest Trees, and Altered Ecosystems: Ecological Pest Management in Global Forests of a Changing World* (pp. 127-140). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-5162-x_7
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A., & Larsson, S. (2005). EXPANSION OF GEOGRAPHIC RANGE IN THE PINE PROCESSIONARY MOTH CAUSED BY INCREASED WINTER TEMPERATURES. *Ecological Applications, 15*(6), 2084-2096. https://doi.org/10.1890/04-1903
- Bedia, J., Herrera, S., Camia, A., Moreno, J. M., & Gutiérrez, J. M. (2014). Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Climatic Change, 122*, 185-199.
- Bedia, J., Herrera, S., Gutiérrez, J. M., Benali, A., Brands, S., Mota, B., & Moreno, J. M. (2015). Global patterns in the sensitivity of burned area to fire-weather: Implications for climate change. *Agricultural and Forest Meteorology, 214*, 369-379.
- Beguería, S., López-Moreno, J. I., Lorente, A., Seeger, M., & García-Ruiz, J. M. (2003). Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. *AMBIO: A journal of the Human Environment, 32*(4), 283-286.
- Beguería, S., Trullenque-Blanco, V., Vicente-Serrano, S. M., & González-Hidalgo, J. C. (2025). Aridity on the Rise: Spatial and Temporal Shifts in Climate Aridity in Spain (1961–2020). *International Journal of Climatology, 45*(6), e8775.
- Bello-Rodríguez, V., Cubas, J., Del Arco, M. J., Martín, J. L., & González-Mancebo, J. M. (2019). Elevational and structural shifts in the treeline of an oceanic island (Tenerife, Canary Islands) in the context of global warming. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 82*, 101918.
- Beltrán-Marcos, D., Calvo, L., Fernández-Guisuraga, J. M., Fernández-García, V., & Suárez-Seoane, S. (2023). Wildland-urban interface typologies prone to high severity fires in Spain. *Science of The Total Environment, 894*, 165000.
- Benavides, R., Rabasa, S. G., Granda, E., Escudero, A., Hódar, J. A., Martínez-Vilalta, J., Rincón, A. M., Zamora, R., & Valladares, F. (2013). Direct and indirect effects of climate on demography and early growth of Pinus sylvestris at the rear edge: changing roles of biotic and abiotic factors. *PLoS One, 8*(3), e59824.
- Benito Garzón, M., Sánchez de Dios, R., & Sainz Ollero, H. (2008). Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. *Applied Vegetation Science, 11*(2), 169-178. https://doi.org/10.3170/2008-7-18348
- Berdugo, M., Delgado-Baquerizo, M., Soliveres, S., Hernández-Clemente, R., Zhao, Y., Gaitán, J. J., Gross, N., Saiz, H., Maire, V., & Lehmann, A. (2020). Global ecosystem thresholds driven by aridity. *Science, 367*(6479), 787-790.
- Berdugo, M., Vidiella, B., Solé, R. V., & Maestre, F. T. (2022). Ecological mechanisms underlying aridity thresholds in global drylands. *Functional Ecology, 36*(1), 4-23.
- Blanco-Cano, L., Navarro-Cerrillo, R. M., & González-Moreno, P. (2022). Biotic and abiotic effects determining the resilience of conifer mountain forests: The case study of the endangered Spanish fir. *Forest Ecology and Management, 520*, 120356. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120356

- Blanco-Canqui, H., & Benjamin, J. G. (2013). Impacts of Soil Organic Carbon on Soil Physical Behavior. In *Quantifying and modeling soil structure dynamics* (pp. 11-40). https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel3.c2
- Blaschke, P. M., Trustrum, N. A., & Hicks, D. L. (2000). Impacts of mass movement erosion on land productivity: a review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 24*(1), 21-52. https://doi.org/10.1177/030913330002400102
- Boisvenue, C., & Running, S. W. (2006). Impacts of climate change on natural forest productivity–evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology, 12*(5), 862-882.
- Bond, W. J., & Midgley, J. J. (2001). Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. *Trends in ecology & evolution, 16*(1), 45-51.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences, 117*(36), 21994-22001.
- Both, C., & Visser, M. E. (2001). Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature, 411*(6835), 296-298. https://doi.org/10.1038/35077063
- Bravo, F., del Río, M., Bravo-Oviedo, A., Ruiz-Peinado, R., del Peso, C., & Montero, G. (2017). Forest carbon sequestration: the impact of forest management. *Managing forest ecosystems: the challenge of climate change*, 251-275.
- Bravo, F., Guijarro, M., Cámara, A., Díaz Balteiro, L., Fernández, P., Pajares, J., Pemán, J., & Ruiz-Peinado, R. (2017). *La situación de los bosques y el sector forestal en España – ISFE 2017* 7º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Plasencia, Cáceres.
- Broncano, M. J., & Retana, J. (2004). Topography and forest composition affecting the variability in fire severity and post-fire regeneration occurring after a large fire in the Mediterranean basin. *International Journal of Wildland Fire, 13*(2), 209-216. https://doi.org/10.1071/WF03036
- Broto, C., & Hubert, O. (2025). *Desertification in Spain: Is there any impact on credit to firms?*
- Brown, A. E., Zhang, L., McMahon, T. A., Western, A. W., & Vertessy, R. A. (2005). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology, 310*(1), 28-61. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.12.010
- Browne, S. J., & Aebischer, N. J. (2003). Temporal changes in the migration phenology of turtle doves Streptopelia turtur in Britain, based on sightings from coastal bird observatories. *Journal of Avian Biology, 34*(1), 65-71. https://doi.org/10.1034/j.1600-048X.2003.03060.x
- Browne, S. J., & Aebischer, N. J. (2004). Temporal changes in the breeding ecology of European Turtle Doves Streptopelia turtur in Britain, and implications for conservation. *Ibis, 146*(1), 125-137. https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00235.x
- Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment, 104*(1), 185-228.
- Buras, A., & Menzel, A. (2019). Projecting tree species composition changes of European forests for 2061–2090 under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. *Frontiers in Plant Science, 9*, 1986.

- Burrell, A. L., Evans, J. P., & De Kauwe, M. G. (2020). Anthropogenic climate change has driven over 5 million km2 of drylands towards desertification. *Nature Communications, 11*(1), 3853. https://doi.org/10.1038/s41467-020-17710-7
- Calama, R., Gordo, J., Mutke, S., Conde, M., Madrigal, G., Garriga, E., Arias, M., Pique, M., Gandia, R., Montero, G., & Pardos, M. (2020). Decline in commercial pine nut and kernel yield in Mediterranean stone pine (Pinus pinea L.) in Spain [Decline in commercial pine nut and kernel yield in Mediterranean stone pine (Pinus pinea L.) in Spain] [Research Articles]. *iForest - Biogeosciences and Forestry, 13*(4), 251-260. https://doi.org/10.3832/ifor3180-013
- Calama, R., Martínez, C., Gordo, J., Del Río, M., Menéndez-Miguélez, M., & Pardos, M. (2023). The impact of climate and management on recent mortality in Pinus pinaster resin-tapped forests of inland Spain. *Forestry: An International Journal of Forest Research, 97*(1), 120-132. https://doi.org/10.1093/forestry/cpad023
- Caldeira, M. d. C., Fernandéz, V., Tomé, J., & Pereira, J. S. (2002). Positive effect of drought on longicorn borer larval survivl and growth on eucalyptus trunks. *Ann. For. Sci., 59*(1), 99-106. https://doi.org/10.1051/forest:2001009
- Calvo de Anta, R., Luís, E., Febrero-Bande, M., Galiñanes, J., Macías, F., Ortíz, R., & Casás, F. (2020). Soil organic carbon in peninsular Spain: Influence of environmental factors and spatial distribution. *Geoderma, 370*, 114365. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114365
- Camarero, J. J., Gazol, A., Linares, J. C., Fajardo, A., Colangelo, M., Valeriano, C., Sánchez-Salguero, R., Sangüesa-Barreda, G., Granda, E., & Gimeno, T. E. (2021). Differences in temperature sensitivity and drought recovery between natural stands and plantations of conifers are species-specific. *Science of The Total Environment, 796*, 148930. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148930
- Camarero, J. J., Rubio-Cuadrado, Á., González de Andrés, E., Valeriano, C., Pizarro, M., Imbert, J. B., Lo, Y.-H., & Blanco, J. A. (2025). Drought limits tree growth more than greenness and reproduction: insights from five case studies in Spain. *Forest Ecosystems*, 100329. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2025.100329
- Camia, A., Liberta, G., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). Modeling the impacts of climate change on forest fire danger in Europe. *Joint Research Centre (JRC) Technical Reports, 1*, 22.
- Cannon, C. H., Piovesan, G., & Munné-Bosch, S. (2022). Old and ancient trees are life history lottery winners and vital evolutionary resources for long-term adaptive capacity. *Nature Plants, 8*(2), 136-145. https://doi.org/10.1038/s41477-021-01088-5
- Cano-Barbacil, C., Radinger, J., & García-Berthou, E. (2022). The importance of seawater tolerance and native status in mediating the distribution of inland fishes. *Journal of Biogeography, 49*(11), 2037-2049. https://doi.org/10.1111/jbi.14493
- Cano-Barbacil, C., Radinger, J., & García-Berthou, E. (2024). Interacting effects of latitudinal and elevational gradients on the distribution of Iberian inland fish. *Limnetica, 43*(2), 1.
- Cantón, Y., Solé-Benet, A., Asensio, C., Chamizo, S., & Puigdefábregas, J. (2009). Aggregate stability in range sandy loam soils Relationships with runoff and erosion. *CATENA, 77*(3), 192-199. https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.12.011

- Capdevila, P., Stott, I., Cant, J., Beger, M., Rowlands, G., Grace, M., & Salguero-Gómez, R. (2022). Life history mediates the trade-offs among different components of demographic resilience. *Ecology Letters, 25*(6), 1566-1579.
- Cardil, A., Eastaugh, C. S., & Molina, D. (2015). Extreme temperature conditions and wildland fires in Spain. *Theoretical and applied climatology, 122*, 219-228.
- Carnicer, J., Alegria, A., Giannakopoulos, C., Di Giuseppe, F., Karali, A., Koutsias, N., Lionello, P., Parrington, M., & Vitolo, C. (2022). Global warming is shifting the relationships between fire weather and realized fire-induced CO2 emissions in Europe. *Scientific Reports, 12*(1), 10365. https://doi.org/10.1038/s41598-022-14480-8
- Carnicer, J., Coll, M., Ninyerola, M., Pons, X., Sánchez, G., & Peñuelas, J. (2011). Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(4), 1474-1478. https://doi.org/doi:10.1073/pnas.1010070108
- Carnicer, J., Coll, M., Pons, X., Ninyerola, M., Vayreda, J., & Peñuelas, J. (2014). Large-scale recruitment limitation in Mediterranean pines: the role of Quercus ilex and forest successional advance as key regional drivers. *Global Ecology and Biogeography, 23*(3), 371-384. https://doi.org/10.1111/geb.12111
- Carpena, R., Tovar-Pescador, J., Sánchez-Gómez, M., Calero, J., Mellado, I., Moya, F., & Fernández, T. (2021). Rainfall-induced landslides and erosion processes in the road network of the Jaén Province (Southern Spain). *Hydrology, 8*(3), 100.
- Carvalho, D., Pereira, S., Silva, R., & Rocha, A. (2022). Aridity and desertification in the Mediterranean under EURO-CORDEX future climate change scenarios. *Climatic Change, 174*(3), 28.
- Casalí, J., Giménez, R., Díez, J., Álvarez-Mozos, J., Del Valle de Lersundi, J., Goñi, M., Campo, M. A., Chahor, Y., Gastesi, R., & López, J. (2010). Sediment production and water quality of watersheds with contrasting land use in Navarre (Spain). *Agricultural Water Management, 97*(10), 1683-1694. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.024
- Castellaneta, M., Rita, A., Camarero, J. J., Colangelo, M., & Ripullone, F. (2022). Declines in canopy greenness and tree growth are caused by combined climate extremes during drought-induced dieback. *Science of The Total Environment, 813*, 152666. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152666
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., & Gómez, J. M. (2004). Seedling establishment of a boreal tree species (Pinus sylvestris) at its southernmost distribution limit: consequences of being in a marginal Mediterranean habitat. *Journal of Ecology*, 266-277.
- Catry, F. X., Moreira, F., Pausas, J. G., Fernandes, P. M., Rego, F., Cardillo, E., & Curt, T. (2012). Cork Oak Vulnerability to Fire: The Role of Bark Harvesting, Tree Characteristics and Abiotic Factors. *PLoS One, 7*(6), e39810. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039810
- Cerdà, A., Lucas Borja, M. E., Úbeda, X., Martínez-Murillo, J. F., & Keesstra, S. (2017). Pinus halepensis M. versus Quercus ilex subsp. Rotundifolia L. runoff and soil erosion at pedon scale under natural rainfall in Eastern Spain three decades after a forest fire. *Forest Ecology and Management, 400*, 447-456. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.038

- Cerdà, A., Lucas-Borja, M. E., Franch-Pardo, I., Úbeda, X., Novara, A., López-Vicente, M., Popović, Z., & Pulido, M. (2021). The role of plant species on runoff and soil erosion in a Mediterranean shrubland. *Science of The Total Environment, 799*, 149218. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149218
- Cernusak, L. A., Haverd, V., Brendel, O., Le Thiec, D., Guehl, J.-M., & Cuntz, M. (2019). Robust Response of Terrestrial Plants to Rising CO₂. *Trends in plant science, 24*(7), 578-586. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.04.003
- Chas-Amil, M., Touza, J., & García-Martínez, E. (2013). Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts. *Applied Geography, 43*, 127-137.
- Chas-Amil, M.-L., García-Martínez, E., & Touza, J. (2020). Iberian Peninsula October 2017 wildfires: Burned area and population exposure in Galicia (NW of Spain). *International Journal of Disaster Risk Reduction, 48*, 101623. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101623
- Chas-Amil, M.-L., Nogueira-Moure, E., Prestemon, J. P., & Touza, J. (2022). Spatial patterns of social vulnerability in relation to wildfire risk and wildland-urban interface presence. *Landscape and Urban Planning, 228*, 104577. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104577
- Chen, B., Lu, Q., Wei, L., Fu, W., Wei, Z., & Tian, S. (2024). Global predictions of topsoil organic carbon stocks under changing climate in the 21st century. *Science of The Total Environment, 908*, 168448. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168448
- Chirino, E., Bonet, A., Bellot, J., & Sánchez, J. R. (2006). Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain. *CATENA, 65*(1), 19-29. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.09.003
- Chiti, T., Díaz-Pinés, E., & Rubio, A. (2012). Soil organic carbon stocks of conifers, broadleaf and evergreen broadleaf forests of Spain. *Biology and Fertility of Soils, 48*(7), 817-826. https://doi.org/10.1007/s00374-012-0676-3
- Chuvieco, E., Yebra, M., Martino, S., Thonicke, K., Gómez-Giménez, M., San-Miguel, J., Oom, D., Velea, R., Mouillot, F., Molina, J. R., Miranda, A. I., Lopes, D., Salis, M., Bugaric, M., Sofiev, M., Kadantsev, E., Gitas, I. Z., Stavrakoudis, D., Eftychidis, G., Bar-Massada, A., Neidermeier, A., Pampanoni, V., Pettinari, M. L., Arrogante-Funes, F., Ochoa, C., Moreira, B., & Viegas, D. (2023). Towards an Integrated Approach to Wildfire Risk Assessment: When, Where, What and How May the Landscapes Burn. *Fire, 6*(5), 215. https://www.mdpi.com/2571-6255/6/5/215
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., & Carrara, A. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature, 437*(7058), 529-533.
- Clarke, P. J., Lawes, M. J., Midgley, J. J., Lamont, B. B., Ojeda, F., Burrows, G. E., Enright, N. J., & Knox, K. J. E. (2013). Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New Phytologist, 197*(1), 19-35. https://doi.org/10.1111/nph.12001
- Cobo-Simón, I., Méndez-Cea, B., Jump, A. S., Seco, J., Gallego, F. J., & Linares, J. C. (2020). Understanding genetic diversity of relict forests. Linking long-term isolation legacies and current habitat fragmentation in Abies pinsapo Boiss. *Forest Ecology and Management, 461*, 117947. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117947

- Colangelo, M., Camarero, J. J., Gazol, A., Piovesan, G., Borghetti, M., Baliva, M., Gentilesca, T., Rita, A., Schettino, A., & Ripullone, F. (2021). Mediterranean old-growth forests exhibit resistance to climate warming. *Science of The Total Environment, 801*, 149684. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149684
- Cortijos-López, M., Sánchez-Navarrete, P., Lasanta, T., Cammeraat, E. L. H., & Nadal-Romero, E. (2024). Afforestation, Natural Secondary Forest or Dehesas? Looking for the Best Post-Abandonment Forest Management for Soil Organic Carbon Accumulation in Mediterranean Mountains. *Forests, 15*(1), 166. https://www.mdpi.com/1999-4907/15/1/166
- Cos, A., Retana, J., & Vayreda, J. (2025). Factors shaping the distribution of old-growthness attributes in the forests of Spain. *Forest Ecosystems, 12*, 100281. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100281.
- Costa-Saura, J.M., Bacciu, V., Sirca, C., Capelluti, O., Spano, D. & Elia, M. (2025). The growing link between heatwaves and megafires: evidence from southern Mediterranean countries of Europe. *Natural Hazards*. https://doi.org/10.1007/s11069-025-07488-6
- Cotton, P. A. (2003). Avian migration phenology and global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 100*(21), 12219-12222. https://doi.org/doi:10.1073/pnas.1930548100
- Crozier, L. G., & Hutchings, J. A. (2014). Plastic and evolutionary responses to climate change in fish. *Evolutionary Applications, 7*(1), 68-87. https://doi.org/10.1111/eva.12135
- Daliakopoulos, I., Tsanis, I., Koutroulis, A., Kourgialas, N., Varouchakis, A., Karatzas, G., & Ritsema, C. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of The Total Environment, 573*, 727-739.
- Davoli, M., & Svenning, J.-C. (2024). Future changes in society and climate may strongly shape wild large-herbivore faunas across Europe. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 379*(1902), 20230334. https://doi.org/doi:10.1098/rstb.2023.0334
- Del Arco, M., & Garzón-Machado, V. (2012). *Estudio predictivo de distribución de los pisos de vegetación en Tenerife y Gran Canaria, para diferentes escenarios de Cambio Climático.*
- Del Barrio, G., Sainz, H., Sanjuán, M. E., Sánchez de Dios, R., Martínez-Valderrama, J., & Ruiz, A. (2021). Abrupt fragmentation thresholds of eight zonal forest types in mainland Spain. *Forest Ecology and Management, 482*, 118788. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118788
- Del Barrio, G., Sanjuan, M. E., Hirche, A., Yassin, M., Ruiz, A., Ouessar, M., Martinez Valderrama, J., Essifi, B., & Puigdefabregas, J. (2016). Land Degradation States and Trends in the Northwestern Maghreb Drylands, 1998–2008. *Remote Sensing, 8*(7), 603. https://www.mdpi.com/2072-4292/8/7/603
- Del Río, S., Canas, R., Cano, E., Cano-Ortiz, A., Musarella, C., Pinto-Gomes, C., & Penas, A. (2021). Modelling the impacts of climate change on habitat suitability and vulnerability in deciduous forests in Spain. *Ecological Indicators, 131*, 108202. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108202
- Di Castri, F., & Mooney, H. A. (2012). *Mediterranean type ecosystems: origin and structure* (Vol. 7). Springer Science & Business Media.
- Díaz-Martínez, P., Maestre, F. T., Moreno-Jiménez, E., Delgado-Baquerizo, M., Eldridge, D. J., Saiz, H., Gross, N., Le Bagousse-Pinguet, Y., Gozalo, B., & Ochoa, V. (2024). Vulnerability of mineral-associated soil organic carbon to climate across global drylands. *Nature Climate Change, 14*(9), 976-982.

- Díaz-Martínez, P., Ruiz-Benito, P., Madrigal-González, J., Gazol, A., & Andivia, E. (2023). Positive effects of warming do not compensate growth reduction due to increased aridity in Mediterranean mixed forests. *Ecosphere, 14*(1), e4380. https://doi.org/10.1002/ecs2.4380
- Dimitrakopoulos, A. P., & Papaioannou, K. K. (2001). Flammability Assessment of Mediterranean Forest Fuels. *Fire Technology, 37*(2), 143-152. https://doi.org/10.1023/A:1011641601076
- Ding, H., Chiabai, A., Silvestri, S., & Nunes, P. A. L. D. (2016). Valuing climate change impacts on European forest ecosystems. *Ecosystem Services, 18*, 141-153. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.02.039
- Doblas-Miranda, E., Rovira, P., Brotons, L., Martínez-Vilalta, J., Retana, J., Pla, M., & Vayreda, J. (2013). Soil carbon stocks and their variability across the forests, shrublands and grasslands of peninsular Spain. *Biogeosciences, 10*(12), 8353-8361. https://doi.org/10.5194/bg-10-8353-2013
- Dorado-Liñán, I., Piovesan, G., Martínez-Sancho, E., Gea-Izquierdo, G., Zang, C., Cañellas, I., Castagneri, D., Di Filippo, A., Gutiérrez, E., & Ewald, J. (2019). Geographical adaptation prevails over species-specific determinism in trees' vulnerability to climate change at Mediterranean rear-edge forests. *Global Change Biology, 25*(4), 1296-1314.
- Dregne, H. E. (2002). Land degradation in the drylands. *Arid land research and management, 16*(2), 99-132.
- Duane, A., Castellnou, M., & Brotons, L. (2021). Towards a comprehensive look at global drivers of novel extreme wildfire events. *Climatic Change, 165*(3), 43. https://doi.org/10.1007/s10584-021-03066-4
- Duguy, B., Alloza, J. A., Röder, A., Vallejo, R., & Pastor, F. (2007). Modelling the effects of landscape fuel treatments on fire growth and behaviour in a Mediterranean landscape (eastern Spain). *International Journal of Wildland Fire, 16*(5), 619-632.
- Dupuy, J.-l., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review. *Annals of Forest Science, 77*(2), 35. https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5
- Duque-Lazo, J., Navarro-Cerrillo, R. M., & Ruíz-Gómez, F. J. (2018). Assessment of the future stability of cork oak (Quercus suber L.) afforestation under climate change scenarios in Southwest Spain. *Forest Ecology and Management, 409*, 444-456. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.042
- Dyderski, M. K., Paź, S., Frelich, L. E., & Jagodziński, A. M. (2018). How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Global Change Biology, 24*(3), 1150-1163. https://doi.org/10.1111/gcb.13925
- Ebabu, K., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Adgo, E., Fenta, A. A., Meshesha, D. T., Berihun, M. L., Sultan, D., Vanmaercke, M., Panagos, P., Borrelli, P., Langendoen, E. J., & Poesen, J. (2022). Global analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation. *International Soil and Water Conservation Research, 10*(2), 161-176. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.002
- Edeso, J. M., Merino, A., González, M. J., & Marauri, P. (1999). Soil erosion under different harvesting managements in steep forestlands from northern Spain. *Land Degradation & Development, 10*(1), 79-88. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199901/02)10:1<79::AID-LDR324>3.0.CO;2-4

- Eekhout, J. P. C., & de Vente, J. (2019). The implications of bias correction methods and climate model ensembles on soil erosion projections under climate change. *Earth Surface Processes and Landforms, 44*(5), 1137-1147. https://doi.org/10.1002/esp.4563
- Eekhout, J. P. C., & de Vente, J. (2022). Global impact of climate change on soil erosion and potential for adaptation through soil conservation. *Earth-Science Reviews, 226*, 103921. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103921
- Eekhout, J. P. C., Hunink, J. E., Terink, W., & de Vente, J. (2018). Why increased extreme precipitation under climate change negatively affects water security. *Hydrol. Earth Syst. Sci., 22*(11), 5935-5946. https://doi.org/10.5194/hess-22-5935-2018
- Eekhout, J. P., Millares-Valenzuela, A., Martínez-Salvador, A., García-Lorenzo, R., Pérez-Cutillas, P., Conesa-García, C., & de Vente, J. (2021). A process-based soil erosion model ensemble to assess model uncertainty in climate-change impact assessments. *Land Degradation & Development, 32*(7), 2409-2422.
- El Garroussi, S., Di Giuseppe, F., Barnard, C., & Wetterhall, F. (2024). Europe faces up to tenfold increase in extreme fires in a warming climate. *npj Climate and Atmospheric Science, 7*(1), 30. https://doi.org/10.1038/s41612-024-00575-8
- El-Ramady, H., Prokisch, J., Mansour, H., Bayoumi, Y. A., Shalaby, T. A., Veres, S., & Brevik, E. C. (2024). Review of crop response to soil salinity stress: Possible approaches from leaching to nano-management. *Soil Systems, 8*(1), 11.
- Elvira, N. J., Lloret, F., Jaime, L., Margalef-Marrase, J., Navarro, M. Á. P., & Batllori, E. (2021). Species climatic niche explains post-fire regeneration of Aleppo pine (Pinus halepensis Mill.) under compounded effects of fire and drought in east Spain. *Science of The Total Environment, 798*, 149308.
- Encina, L., Rodríguez-Ruiz, A., Orduna, C., Cid, J. R., de Meo, I., & Granado-Lorencio, C. (2024). Impact of invasive European catfish (Silurus glanis) on the fish community of Torrejón reservoir (Central Spain) during a 11-year monitoring study. *Biological Invasions, 26*(3), 745-756. https://doi.org/10.1007/s10530-023-03204-2
- Esler, K. J., Jacobsen, A. L., & Pratt, R. B. (2018). *The biology of Mediterranean-type ecosystems*. Oxford University Press.
- Estreguil, C., Caudullo, G., De Rigo, D., & San-Miguel-Ayanz, J. (2013). *Forest landscape in Europe: pattern, fragmentation and connectivity* (9279281186). (JRC Scientific and Policy Reports, Issue.
- Estrela-Segrelles, C., Gómez-Martinez, G., & Pérez-Martín, M. Á. (2021). Risk assessment of climate change impacts on Mediterranean coastal wetlands. Application in Júcar River Basin District (Spain). *Science of The Total Environment, 790*, 148032.
- Eugenio, M., & Lloret, F. (2006). Effects of repeated burning on Mediterranean communities of the northeastern Iberian Peninsula. *Journal of Vegetation Science, 17*(6), 755-764.
- European Environmental Agency. (2024). *European Climate Risk Assessment (EUCRA)*. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment
- FAO and Plan Bleau. (2018). *State of Mediterranean Forests 2018*.
- FAO-GTIS. (2016). *Estado Mundial del Recurso Suelo - Resumen Técnico* (Informe Tecnico del Estado Mundial del Recurso Suelo, Issue.

- Fastovich, D., Meyers, S. R., Saupe, E. E., Williams, J. W., Dornelas, M., Dowding, E. M., Finnegan, S., Huang, H.-H. M., Jonkers, L., Kiessling, W., Kocsis, Á. T., Li, Q., Liow, L. H., Na, L., Penny, A. M., Pippenger, K., Renaudie, J., Rillo, M. C., Smith, J., Steinbauer, M. J., Sugawara, M., Tomašových, A., Yasuhara, M., & Hull, P. M. (2025). Coupled, decoupled, and abrupt responses of vegetation to climate across timescales. *Science, 389*(6755), 64-68. https://doi.org/doi:10.1126/science.adr6700
- Fernandes, P. M., Luz, A., & Loureiro, C. (2010). Changes in wildfire severity from maritime pine woodland to contiguous forest types in the mountains of northwestern Portugal. *Forest Ecology and Management, 260*(5), 883-892. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.008
- Fernandes, P. M., Rossa, C. G., Madrigal, J., Rigolot, E., Ascoli, D., Hernando, C., Guiomar, N., & Guijarro, M. (2022). Prescribed burning in the European Mediterranean basin. *Global Application of Prescribed Fire. CRC Press, Boca Raton, Florida, United States*, 230-248.
- Fernandes, P. M., Vega, J. A., Jiménez, E., & Rigolot, E. (2008). Fire resistance of European pines. *Forest Ecology and Management, 256*(3), 246-255. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.032
- Fernandes, P., Colavolpe, M. B., Serrazina, S., & Costa, R. L. (2022). European and American chestnuts: An overview of the main threats and control efforts [Review]. *Frontiers in Plant Science, Volume 13 - 2022*. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.951844
- Fernandez-de-Mera, I. G., Vicente, J., Naranjo, V., Fierro, Y., Garde, J. J., de la Fuente, J., & Gortazar, C. (2009). Impact of major histocompatibility complex class II polymorphisms on Iberian red deer parasitism and life history traits. *Infection, Genetics and Evolution, 9*(6), 1232-1239. https://doi.org/10.1016/j.meegid.2009.07.010
- Fernández-García, V., Fulé, P. Z., Marcos, E., & Calvo, L. (2019). The role of fire frequency and severity on the regeneration of Mediterranean serotinous pines under different environmental conditions. *Forest Ecology and Management, 444*, 59-68. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.040
- Fernández-Getino, A. P., & Duarte, A. C. (2015). Soil management guidelines in Spain and Portugal related to EU Soil Protection Strategy based on analysis of soil databases. *CATENA, 126*, 146-154. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.11.003
- Fernández-Guisuraga, J. M., & Fernandes, P. M. (2024). Enhanced post-wildfire vegetation recovery in prescribed-burnt Mediterranean shrubland: A regional assessment. *Forest Ecology and Management, 561*, 121921. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121921
- Fernandez-López, A., Gómez-González, L. A., & Armas-Fuertes, R. F. (2022). El impacto del cambio climático en los bosques de laurisilva del parque nacional de Garajonay. Medidas de adaptación. *Boletín de la Red de Parques Nacionales, 67*, 33.
- Fernández-Manjarrés, J. F., Ruiz-Benito, P., Zavala, M. A., Camarero, J. J., Pulido, F., Proença, V., Navarro, L., Sansilvestri, R., Granda, E., Marqués, L., Temunovič, M., Bertelsmeier, C., Drobinski, P., Roturier, S., Benito-Garzón, M., Cortazar-Atauri, I. G. d., Simon, L., Dupas, S., Levrel, H., & Sautier, M. (2018). Forest Adaptation to Climate Change along Steep Ecological Gradients: The Case of the Mediterranean-Temperate Transition in South-Western Europe. *Sustainability, 10*(9), 3065. https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3065
- Fernández-Ondoño, E., Rojo Serrano, L., Jiménez, M. N., Navarro, F. B., Díez, M., Martín, F., Fernández, J., Martínez, F. J., Roca, A., & Aguilar, J. (2010). Afforestation improves soil fertility in south-eastern Spain. *European Journal of Forest Research, 129*(4), 707-717. https://doi.org/10.1007/s10342-010-0376-1

- Fernández-Ondoño, E., Rojo Serrano, L., Jiménez, M., Navarro, F., Díez, M., Martín, F., Fernández, J., Martínez, F., Roca, A., & Aguilar, J. (2010). Afforestation improves soil fertility in south-eastern Spain. *European Journal of Forest Research, 129*, 707-717.
- Fernández-Palacios, J. M. (2009). Relictualismo en islas oceánicas. El caso de la laurisilva macaronésica.
- Feyen L., C. J. C., Gosling S., Ibarreta D. y Soria A. (editors). (2020). *Climate change impacts and adaptation in Europe. JRC PESETA IV final report. EUR 30180EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.* . https://doi.org/10.2760/171121
- Filoso, S., Bezerra, M. O., Weiss, K. C. B., & Palmer, M. A. (2017). Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PLoS One, 12*(8), e0183210. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183210
- Flor-Blanco, G., Alcántara-Carrió, J., Jackson, D., Flor, G., & Flores-Soriano, C. (2021). Coastal erosion in NW Spain: Recent patterns under extreme storm wave events. *Geomorphology, 387*, 107767.
- Francos, M., Úbeda, X., & Pereira, P. (2019). Impact of torrential rainfall and salvage logging on post-wildfire soil properties in NE Iberian Peninsula. *CATENA, 177*, 210-218. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.014
- Francos, M., Úbeda, X., Tort, J., Panareda, J. M., & Cerdà, A. (2016). The role of forest fire severity on vegetation recovery after 18years. Implications for forest management of Quercus suber L. in Iberian Peninsula. *Global and Planetary Change, 145*, 11-16. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.07.016
- Freire, J. A., C. Rodrigues, G., & Tomé, M. (2019). Climate Change Impacts on Pinus pinea L. Silvicultural System for Cone Production and Ways to Contour Those Impacts: A Review Complemented with Data from Permanent Plots. *Forests, 10*(2), 169. https://www.mdpi.com/1999-4907/10/2/169
- Freitas, T. R., Santos, J. A., Paredes, P., & Fraga, H. (2024). Future aridity and drought risk for traditional and super-intensive olive orchards in Portugal. *Climatic Change, 177*(10), 155.
- Gabarrón-Galeote, M. A., Trigalet, S., & Wesemael, B. v. (2015). Soil organic carbon evolution after land abandonment along a precipitation gradient in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 199*, 114-123. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.027
- Galiano, L., Martínez-Vilalta, J., Sabaté, S., & Lloret, F. (2012). Determinants of drought effects on crown condition and their relationship with depletion of carbon reserves in a Mediterranean holm oak forest. *Tree Physiology, 32*(4), 478-489. https://doi.org/10.1093/treephys/tps025
- García-Barreda, S., Sangüesa-Barreda, G., Madrigal-González, J., Seijo, F., de Andrés, E. G., & Camarero, J. J. (2021). Reproductive phenology determines the linkages between radial growth, fruit production and climate in four Mediterranean tree species. Agricultural and Forest Meteorology, 307, 108493.
- García-Jiménez, R., Palmero-Iniesta, M., & Espelta, J. M. (2017). Contrasting Effects of Fire Severity on the Regeneration of Pinus halepensis Mill. and Resprouter Species in Recently Thinned Thickets. *Forests, 8*(3), 55. https://www.mdpi.com/1999-4907/8/3/55
- García-Ruiz, J. M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena, 81*(1), 1-11.

- García-Ruiz, J. M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., & Beguería, S. (2013). Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. *Geomorphology, 198*, 20-36. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.023
- García-Valdecasas Ojeda, M., Gámiz-Fortis, S. R., Romero-Jiménez, E., Rosa-Cánovas, J. J., Yeste, P., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2021). Projected changes in the Iberian Peninsula drought characteristics. *Science of The Total Environment, 757*, 143702. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143702
- García-Valdés, R., Estrada, A., Early, R., Lehsten, V., & Morin, X. (2020). Climate change impacts on long-term forest productivity might be driven by species turnover rather than by changes in tree growth. *Global Ecology and Biogeography, 29*(8), 1360-1372. https://doi.org/10.1111/geb.13112
- García-Valdés, R., Gotelli, N. J., Zavala, M. A., Purves, D. W., & Araújo, M. B. (2015). Effects of climate, species interactions, and dispersal on decadal colonization and extinction rates of Iberian tree species. *Ecological Modelling, 309-310*, 118-127. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.04.003
- Gaspar, M., Acevedo, P., Arrondo, E., García-Martínez, I., Herrero, J., Pascual-Rico, R., Sánchez-Zapata, J. A., & Anadón, J. D. (2025). The demographic collapse of hunting in the Iberian Peninsula. *People and Nature, 7*(4), 765-776. https://doi.org/10.1002/pan3.10770
- Gazol, A., Oliva, J., Valeriano, C., Colangelo, M., & Camarero, J. J. (2022). Mixed Pine Forests in a Hotter and Drier World: The Great Resilience to Drought of Aleppo Pine Benefits It Over Other Coexisting Pine Species [Original Research]. *Frontiers in Forests and Global Change, Volume 5 - 2022*. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.899425
- Giménez-Benavides, L., Escudero, A., García-Camacho, R., García-Fernández, A., Iriondo, J. M., Lara-Romero, C., & Morente-López, J. (2018). How does climate change affect regeneration of Mediterranean high-mountain plants? An integration and synthesis of current knowledge. *Plant Biol (Stuttg), 20 Suppl 1*, 50-62. https://doi.org/10.1111/plb.12643
- Girona-García, A., Vieira, D. C., Silva, J., Fernández, C., Robichaud, P. R., & Keizer, J. J. (2021). Effectiveness of post-fire soil erosion mitigation treatments: A systematic review and meta-analysis. *Earth-Science Reviews, 217*, 103611.
- Gleick, P. H. (2003). Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science, 302*(5650), 1524-1528.
- Gomez, D., Forzier, G., Arcadia, M., Dosio, A., Cescatti, A., Barbosa, P., & Feyen, L. (2025). Rising wildfire risks in Europe fuelled by global warming. *Research Square*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-6362322/v1
- González Díaz, P., Ruiz Benito, P., Astigarraga Urcelay, J., Cruz Alonso, V., Moreno Fernández, D., Herrero Méndez, A., Gosálbez Ruiz, J., & Zavala Gironés, M. A. (2020). *Los bosques españoles como soluciones naturales frente al cambio climático: herramientas de análisis y modelización*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- González, J. R., Trasobares, A., Palahi, M., & Pukkala, T. (2007). Predicting stand damage and tree survival in burned forests in Catalonia (North-East Spain). *Annals of Forest Science, 64*(7), 733-742.

- González-Díaz, P., Ruiz-Benito, P., Astigarraga, J., Cruz-Alonso, V., Moreno-Fernández, D., Herrero, A., Gosálbez, J., & Zavala, M. (2020). Los bosques españoles como soluciones naturales frente al cambio climático: herramientas de análisis y modelización. *Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid*.
- González-García, V., Fernández-Pascual, E., Font, X., & Jiménez-Alfaro, B. (2024). Forest habitat diversity in the Cantabrian Mixed Forests ecoregion (NW Iberian Peninsula), a climatic refugium in western Europe. *Applied Vegetation Science, 27*(3), e12793. https://doi.org/10.1111/avsc.12793
- González-Muñoz, N., Linares, J., Castro-Díez, P., & Sass-Klaassen, U. (2014). Predicting climate change impacts on native and invasive tree species using radial growth and twenty-first century climate scenarios. *European Journal of Forest Research, 133*, 1073-1086.
- Górriz-Mifsud, E., Ameztegui, A., González, J. R., & Trasobares, A. (2022). Climate-Smart Forestry Case Study: Spain. In L. Hetemäki, J. Kangas, & H. Peltola (Eds.), *Forest Bioeconomy and Climate Change* (pp. 211-228). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99206-4_13
- Gort-Esteve, A., Carbajal, A., López, M., Manteca, X., Ruiz-Olmo, J., & Riera, J. L. (2024). Faecal cortisol levels in a wild Iberian red deer population are best explained by prior weather conditions. *Journal of Zoology, 322*(4), 375-385. https://doi.org/10.1111/jzo.13149
- Greenwood, S., Ruiz-Benito, P., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Kitzberger, T., Allen, C. D., Fensham, R., Laughlin, D. C., Kattge, J., Bönisch, G., Kraft, N. J. B., & Jump, A. S. (2017). Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. *Ecology Letters, 20*(4), 539-553. https://doi.org/10.1111/ele.12748
- Grigal, D., & Vance, E. (2000). Influence of soil organic matter on forest productivity. *New Zealand Journal of Forestry Science, 30*(1/2), 169-205.
- Grilli, E., Carvalho, S. C., Chiti, T., Coppola, E., D'Ascoli, R., La Mantia, T., Marzaioli, R., Mastrocicco, M., Pulido, F., & Rutigliano, F. A. (2021). Critical range of soil organic carbon in southern Europe lands under desertification risk. *Journal of Environmental Management, 287*, 112285.
- Grünig, M., Seidl, R., & Senf, C. (2023). Increasing aridity causes larger and more severe forest fires across Europe. *Global Change Biology, 29*(6), 1648-1659. https://doi.org/10.1111/gcb.16547
- Guada, G., Camarero, J. J., Sánchez-Salguero, R., & Cerrillo, R. M. N. (2016). Limited growth recovery after drought-induced forest dieback in very defoliated trees of two pine species. *Frontiers in Plant Science, 7*, 418.
- Gudmundsson, L., Rego, F. C., Rocha, M., & Seneviratne, S. I. (2014). Predicting above normal wildfire activity in southern Europe as a function of meteorological drought. *Environmental Research Letters, 9*(8), 084008.
- Guillemain, M., Pöysä, H., Fox, A. D., Arzel, C., Dessborn, L., Ekroos, J., Gunnarsson, G., Holm, T. E., Christensen, T. K., Lehikoinen, A., Mitchell, C., Rintala, J., & M⊘ller, A. P. (2013). Effects of climate change on European ducks: what do we know and what do we need to know? *Wildlife Biology, 19*(4), 404-419. https://doi.org/10.2981/12-118
- Hacket-Pain, A. J., Cavin, L., Friend, A. D., & Jump, A. S. (2016). Consistent limitation of growth by high temperature and low precipitation from range core to southern edge of European beech indicates widespread vulnerability to changing climate. *European Journal of Forest Research, 135*(5), 897-909. https://doi.org/10.1007/s10342-016-0982-7

- Hall, C. M., Scott, D., & Gössling, S. (2011). Forests, climate change and tourism. *Journal of Heritage Tourism, 6*(4), 353-363.
- Hampe, A., & Petit, R. J. (2005). Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters, 8*(5), 461-467. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00739.x
- Hamza, M., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage research, 82*(2), 121-145.
- Hanes, T. L. (1971). Succession after Fire in the Chaparral of Southern California. *Ecological Monographs, 41*(1), 27-52. https://doi.org/10.2307/1942434
- Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., & Zimmermann, N. E. (2013). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change, 3*(3), 203-207.
- Harter, D. E. V., Irl, S. D. H., Seo, B., Steinbauer, M. J., Gillespie, R., Triantis, K. A., Fernández-Palacios, J.-M., & Beierkuhnlein, C. (2015). Impacts of global climate change on the floras of oceanic islands – Projections, implications and current knowledge. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 17*(2), 160-183. https://doi.org/10.1016/j.ppees.2015.01.003
- Hartmann, H., Bastos, A., Das, A. J., Esquivel-Muelbert, A., Hammond, W. M., Martínez-Vilalta, J., McDowell, N. G., Powers, J. S., Pugh, T. A., & Ruthrof, K. X. (2022). Climate change risks to global forest health: emergence of unexpected events of elevated tree mortality worldwide. *Annual Review of Plant Biology, 73*(1), 673-702.
- Hernández, L., Sánchez de Dios, R., Montes, F., Sainz-Ollero, H., & Cañellas, I. (2017). Exploring range shifts of contrasting tree species across a bioclimatic transition zone. *European Journal of Forest Research, 136*(3), 481-492. https://doi.org/10.1007/s10342-017-1047-2
- Hernández-Lambraño, R. E., Parra, J. L., Román, J. F. C., & Sánchez-Agudo, J. Á. (2024). Less suitable climatic conditions and pests increase tree defoliation in Spanish Iberian Peninsula forests. *Forest Ecology and Management, 566*, 122048. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122048
- Hernando, D. (2016). Estimate of the (R) USLE rainfall erosivity factor from monthly precipitation data in mainland Spain. *Journal of Iberian Geology, 42*(1), 113-124.
- Herraiz, A. D., Salazar-Zarzosa, P. C., Mesas, F. J., Arenas-Castro, S., Ruiz-Benito, P., & Villar, R. (2023). Modelling aboveground biomass and productivity and the impact of climate change in Mediterranean forests of South Spain. *Agricultural and Forest Meteorology, 337*, 109498. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109498
- Herranz, J., J., M.-S. J., Angel, M., & and Ferrandis, P. (1997). Postfire regeneration of Pinus halepensis Miller in a semi-arid area in Albacete province (southeastern Spain). *Ecoscience, 4*(1), 86-90. https://doi.org/10.1080/11956860.1997.11682381
- Herrero, C., Berraondo, I., Bravo, F., Pando, V., Ordóñez, C., Olaizola, J., Martín-Pinto, P., & Oria de Rueda, J. A. (2019). Predicting Mushroom Productivity from Long-Term Field-Data Series in Mediterranean Pinus pinaster Ait. Forests in the Context of Climate Change. *Forests, 10*(3), 206. https://www.mdpi.com/1999-4907/10/3/206
- Hetzer, J., Forrest, M., Ribalaygua, J., Prado-López, C., & Hickler, T. (2024). The fire weather in Europe: large-scale trends towards higher danger. *Environmental Research Letters, 19*(8), 084017. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad5b09

- Hewitt, G. M. (1999). Post-glacial re-colonization of European biota. *Biological journal of the Linnean Society, 68*(1-2), 87-112.
- Huang, J., Zhang, G., Zhang, Y., Guan, X., Wei, Y., & Guo, R. (2020). Global desertification vulnerability to climate change and human activities. *Land Degradation & Development, 31*(11), 1380-1391. https://doi.org/10.1002/ldr.3556
- Hueso-González, P., Martínez-Murillo, J. F., & Ruiz-Sinoga, J. D. (2018). Benefits of adding forestry clearance residues for the soil and vegetation of a Mediterranean mountain forest. *Science of The Total Environment, 615*, 796-804. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.301
- IPBES. (2017). *Update on the classification of nature's contributions to people by the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services* (IPBES/5/INF/24, Issue. https://seea.un.org/content/update-classification-nature%E2%80%99s-contributions-people-intergovernmental-science-policy
- IPCC. (2012). Summary for Policymakers. In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, & P. M. Midgley (Eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation - A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-19). Cambridge University Press.
- IPCC. (2019). Summary for Policymakers. In P. R. Shukla, J. E. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, & J. Malley (Eds.), *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* Cambridge University Press. https://doi.org/doi.org/10.1017/9781009157988.001
- Jacquet, K., & Prodon, R. (2009). Measuring the postfire resilience of a bird–vegetation system: a 28-year study in a Mediterranean oak woodland. *Oecologia, 161*(4), 801-811. https://doi.org/10.1007/s00442-009-1422-x
- Jain, P., Castellanos-Acuna, D., Coogan, S. C. P., Abatzoglou, J. T., & Flannigan, M. D. (2022). Observed increases in extreme fire weather driven by atmospheric humidity and temperature. *Nature Climate Change, 12*(1), 63-70. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01224-1
- Jolly, W. M., Cochrane, M. A., Freeborn, P. H., Holden, Z. A., Brown, T. J., Williamson, G. J., & Bowman, D. M. J. S. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications, 6*(1), 7537. https://doi.org/10.1038/ncomms8537
- Jones, M. W., Abatzoglou, J. T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., Smith, A. J., Burton, C., Betts, R. A., & van der Werf, G. R. (2022). Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics, 60*(3), e2020RG000726.
- Jönsson, A. M., Harding, S., Bärring, L., & Ravn, H. P. (2007). Impact of climate change on the population dynamics of Ips typographus in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology, 146*(1), 70-81. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.05.006
- Jump, A. S., Ruiz-Benito, P., Greenwood, S., Allen, C. D., Kitzberger, T., Fensham, R., Martínez-Vilalta, J., & Lloret, F. (2017). Structural overshoot of tree growth with climate variability and the global spectrum of drought-induced forest dieback. *Global Change Biology, 23*(9), 3742-3757.

- Karavani, A., De Cáceres, M., Martínez de Aragón, J., Bonet, J. A., & de-Miguel, S. (2018). Effect of climatic and soil moisture conditions on mushroom productivity and related ecosystem services in Mediterranean pine stands facing climate change. *Agricultural and Forest Meteorology, 248*, 432-440. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.024
- Kaye, J. P., Romanyà, J., & Vallejo, V. R. (2010). Plant and soil carbon accumulation following fire in Mediterranean woodlands in Spain. *Oecologia, 164*(2), 533-543. https://doi.org/10.1007/s00442-010-1659-4
- Keenan, R. J. (2015). Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. *Annals of Forest Science, 72*, 145-167.
- Kelly, L. T., & Brotons, L. (2017). Using fire to promote biodiversity. *Science, 355*(6331), 1264-1265. https://doi.org/doi:10.1126/science.aam7672
- Kimmell, L. B., Fagan, J. M., & Havrilla, C. A. (2023). Soil restoration increases soil health across global drylands: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology, 60*(9), 1939-1951.
- La Porta, N., P., C., M., T. I., R., K., M., H. A., & and Von Weissenberg, K. (2008). Forest pathogens with higher damage potential due to climate change in Europe. *Canadian Journal of Plant Pathology, 30*(2), 177-195. https://doi.org/10.1080/07060661.2008.10540534
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development, 12*(6), 519-539.
- Lange, M. A. (2020). Climate change in the Mediterranean: Environmental impacts and extreme events. *IEMed Mediterranean Yearbook, 2020*, 224-229.
- Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Khorchani, M., & Romero-Díaz, A. (2021). Una revisión sobre las tierras abandonadas en España: de los paisajes locales a las estrategias globales de gestión. *Cuadernos de investigación geográfica: Geographical Research Letters, 47*(2), 477-521.
- Lechuga, V., Carraro, V., Viñegla, B., Carreira, J. A., & Linares, J. C. (2017). Managing drought-sensitive forests under global change. Low competition enhances long-term growth and water uptake in Abies pinsapo. *Forest Ecology and Management, 406*, 72-82. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.017
- Lecina-Diaz, J., Alvarez, A., Regos, A., Drapeau, P., Paquette, A., Messier, C., & Retana, J. (2018). The positive carbon stocks–biodiversity relationship in forests: co-occurrence and drivers across five subclimates. *Ecological Applications, 28*(6), 1481-1493.
- Lecina-Diaz, J., Martínez-Vilalta, J., Alvarez, A., Banqué, M., Birkmann, J., Feldmeyer, D., Vayreda, J., & Retana, J. (2021). Characterizing forest vulnerability and risk to climate-change hazards. *Frontiers in Ecology and the Environment, 19*(2), 126-133. https://doi.org/10.1002/fee.2278
- Lecina-Diaz, J., Martínez-Vilalta, J., Alvarez, A., Vayreda, J., & Retana, J. (2021). Assessing the risk of losing forest ecosystem services due to wildfires. *Ecosystems*, 1-15.
- Leite, C., Oliveira, V., Lauw, A., & Pereira, H. (2019). Cork rings suggest how to manage Quercus suber to mitigate the effects of climate changes. *Agricultural and Forest Meteorology, 266-267*, 12-19. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.032
- Leite, C., Oliveira, V., Miranda, I., & Pereira, H. (2020). Cork oak and climate change: Disentangling drought effects on cork chemical composition. *Scientific Reports, 10*(1), 7800. https://doi.org/10.1038/s41598-020-64650-9

- Leites, L., & Benito Garzón, M. (2023). Forest tree species adaptation to climate across biomes: Building on the legacy of ecological genetics to anticipate responses to climate change. *Global Change Biology, 29*(17), 4711-4730. https://doi.org/10.1111/gcb.16711
- Lemes, P., Barbosa, F. G., Naimi, B., & Araújo, M. B. (2022). Dispersal abilities favor commensalism in animal-plant interactions under climate change. *Science of The Total Environment, 835*, 155157. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155157
- Liang, J., Crowther, T. W., Picard, N., Wiser, S., Zhou, M., Alberti, G., Schulze, E.-D., McGuire, A. D., Bozzato, F., & Pretzsch, H. (2016). Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science, 354*(6309), aaf8957.
- Liebhold, A. M., Brockerhoff, E. G., Kalisz, S., Nuñez, M. A., Wardle, D. A., & Wingfield, M. J. (2017). Biological invasions in forest ecosystems. *Biological Invasions, 19*(11), 3437-3458. https://doi.org/10.1007/s10530-017-1458-5
- Linares, C., Carmona, R., Salvador, P., & Díaz, J. (2018). Impact on mortality of biomass combustion from wildfires in Spain: A regional analysis. *Science of The Total Environment, 622-623*, 547-555. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.321
- Linares, J. C., Senhadji, K., Herrero, A., & Hódar, J. A. (2014). Growth patterns at the southern range edge of Scots pine: Disentangling the effects of drought and defoliation by the pine processionary caterpillar. *Forest Ecology and Management, 315*, 129-137. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.12.029
- Liski, J., Perruchoud, D., & Karjalainen, T. (2002). Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management, 169*(1), 159-175. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00306-7
- Lloret, F., & García, C. (2016). Inbreeding and neighbouring vegetation drive drought-induced die-off within juniper populations. *Functional Ecology, 30*(10), 1696-1704.
- Lloret, F., Jaime, L. A., Margalef-Marrase, J., Pérez-Navarro, M. A., & Batllori, E. (2022). Short-term forest resilience after drought-induced die-off in Southwestern European forests. *Science of The Total Environment, 806*, 150940.
- López de Heredia, U., Carrión, J. S., Jiménez, P., Collada, C., & Gil, L. (2007). Molecular and palaeoecological evidence for multiple glacial refugia for evergreen oaks on the Iberian Peninsula. *Journal of Biogeography, 34*(9), 1505-1517. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01715.x
- López-Sánchez, A., Bareth, G., Bolten, A., Rose, L. E., Mansfeldt, T., Sapp, M., & Linstädter, A. (2021). Effects of declining oak vitality on ecosystem multifunctionality: Lessons from a Spanish oak woodland. *Forest Ecology and Management, 484*, 118927. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118927
- López-Sánchez, C. A., Castedo-Dorado, F., Cámara-Obregón, A., & Barrio-Anta, M. (2021). Distribution of Eucalyptus globulus Labill. in northern Spain: Contemporary cover, suitable habitat and potential expansion under climate change. *Forest Ecology and Management, 481*, 118723. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118723
- López-Tirado, J., & Hidalgo, P. J. (2018). Predicting suitability of forest dynamics to future climatic conditions: the likely dominance of Holm oak [Quercus ilex subsp. ballota (Desf.) Samp.] and Aleppo pine (Pinus halepensis Mill.). *Annals of Forest Science, 75*(1), 19. https://doi.org/10.1007/s13595-018-0702-1

- Loveland, P., & Webb, J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage research, 70*(1), 1-18.
- Lozano-García, B., Francaviglia, R., Renzi, G., Doro, L., Ledda, L., Benítez, C., González-Rosado, M., & Parras-Alcántara, L. (2020). Land use change effects on soil organic carbon store. An opportunity to soils regeneration in Mediterranean areas: Implications in the 4p1000 notion. *Ecological Indicators, 119*, 106831. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106831
- Lozano-García, B., Muñoz-Rojas, M., & Parras-Alcántara, L. (2017). Climate and land use changes effects on soil organic carbon stocks in a Mediterranean semi-natural area. *Science of The Total Environment, 579*, 1249-1259. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.111
- Lucas-Borja, M. E., & Vacchiano, G. (2018). Interactions between climate, growth and seed production in Spanish black pine (Pinus nigra Arn. ssp. salzmannii) forests in Cuenca Mountains (Spain). *New Forests, 49*(3), 399-414. https://doi.org/10.1007/s11056-018-9626-8
- Lucas-Borja, M. E., Candel-Pérez, D., García Morote, F. A., Onkelinx, T., Tíscar, P. A., & Balandier, P. (2016). Pinus nigra Arn. ssp. salzmannii seedling recruitment is affected by stand basal area, shrub cover and climate interactions. *Annals of Forest Science, 73*(3), 649-656. https://doi.org/10.1007/s13595-016-0550-9
- Lucas-Borja, M. E., Candel-Pérez, D., Onkelinx, T., Fule, P. Z., Moya, D., De las Heras, J., & Tíscar, P. A. (2017). Seed Origin and Protection Are Important Factors Affecting Post-Fire Initial Recruitment in Pine Forest Areas. *Forests, 8*(6), 185. https://www.mdpi.com/1999-4907/8/6/185
- Lugato, E. (2024). Soil organic carbon losses exacerbated by climate extremes. *Nature Climate Change, 14*(1), 17-18.
- Maestre, F. T., & Cortina, J. (2004). Are Pinus halepensis plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas? *Forest Ecology and Management, 198*(1), 303-317. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.040
- MAGRAMA. (2014). *Diagnóstico del Sector Forestal Español, Análisis y Prospectiva* (Serie Agrinfo Medioambiente, Issue. https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:EU:6d436320-4d05-403b-b194-16bb24dbbe53
- MAPA. (2016). *Guía de Gestión Integrada de Plagas para Quercus*. https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/agricultura/temas/medios-de-produccion/productos-fitosanitarios/uso-sostenible-de-productos-fitosanitarios/guias-de-gestion-integrada-de-plagas/guiagipquercusweb.pdf
- MAPA. (2017). *Guía de Gestión Integrada de Plagas para Frondosas*. https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/agricultura/temas/medios-de-produccion/productos-fitosanitarios/uso-sostenible-de-productos-fitosanitarios/guias-de-gestion-integrada-de-plagas/guiafrondosasweb.pdf
- MAPA. (2018). *Guía de Gestión Integrada de Plagas para Eucalipto*. https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/agricultura/temas/medios-de-produccion/productos-fitosanitarios/uso-sostenible-de-productos-fitosanitarios/guias-de-gestion-integrada-de-plagas/guiaeucaliptoweb.pdf
- MAPA. (2019). *Los incendios forestales en España: Decenio 2006-2015*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/incendios-decenio-2006-2015_tcm30-521617.pdf

- MAPA. (2021). *Guía de Gestión Integrada de Plagas para Coníferas*. https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/agricultura/temas/medios-de-produccion/productos-fitosanitarios/uso-sostenible-de-productos-fitosanitarios/guias-de-gestion-integrada-de-plagas/coniferas_web_metadatos_protegida.pdf
- MAPA. (2024). *Informe anual de indicadores Agricultura, Pesca y Alimentación 2023*. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/serie-indicadores/indicadores_semestre
- MARM. (2008). *Programa de acción nacional contra la desertificación*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/lucha-contra-la-desertificacion/lch_pand.html
- Martín Vide, J., & Olcina Cantos, J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Alianza.
- Martin-Benito, D., Pederson, N., Férriz, M., & Gea-Izquierdo, G. (2021). Old forests and old carbon: A case study on the stand dynamics and longevity of aboveground carbon. *Science of The Total Environment, 765*, 142737. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142737
- Martínez, J., Vega-Garcia, C., & Chuvieco, E. (2009). Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management, 90*(2), 1241-1252. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.005
- Martínez-Valderrama, J., del Barrio, G., Sanjuán, M. E., Guirado, E., & Maestre, F. T. (2022). Desertification in Spain: A Sound Diagnosis without Solutions and New Scenarios. *Land, 11*(2), 272. https://www.mdpi.com/2073-445X/11/2/272
- Martínez-Valderrama, J., Ibáñez, J., Del Barrio, G., Sanjuán, M. E., Alcalá, F. J., Martínez-Vicente, S., Ruiz, A., & Puigdefábregas, J. (2016). Present and future of desertification in Spain: Implementation of a surveillance system to prevent land degradation. *Science of The Total Environment, 563*, 169-178.
- Martín-Rosales, W., Pulido-Bosch, A., Vallejos, Á., Gisbert, J., Andreu, J. M., & Sánchez-Martos, F. (2007). Hydrological implications of desertification in southeastern Spain/ Implications hydrologiques de la désertification dans le sud-est de l'Espagne. *Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques, 52*(6), 1146-1161.
- Martins, A., Marques, G., Borges, O., Portela, E., Lousada, J., Raimundo, F., & Madeira, M. (2011). Management of chestnut plantations for a multifunctional land use under Mediterranean conditions: effects on productivity and sustainability. *Agroforestry Systems, 81*(2), 175-189. https://doi.org/10.1007/s10457-010-9355-2
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., & (eds.), B. Z. (2021). *Climate change 2021: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Matesanz, S., & Valladares, F. (2014). Ecological and evolutionary responses of Mediterranean plants to global change. *Environmental and Experimental botany, 103*, 53-67.
- Mauri, A., Girardello, M., Strona, G., Beck, P. S., Forzieri, G., Caudullo, G., Manca, F., & Cescatti, A. (2022). EU-Trees4F, a dataset on the future distribution of European tree species. *Scientific data, 9*(1), 37.

- McDowell, N. G., Allen, C. D., Anderson-Teixeira, K., Aukema, B. H., Bond-Lamberty, B., Chini, L., Clark, J. S., Dietze, M., Grossiord, C., Hanbury-Brown, A., Hurtt, G. C., Jackson, R. B., Johnson, D. J., Kueppers, L., Lichstein, J. W., Ogle, K., Poulter, B., Pugh, T. A. M., Seidl, R., Turner, M. G., Uriarte, M., Walker, A. P., & Xu, C. (2020). Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science, 368*(6494), eaaz9463. https://doi.org/doi:10.1126/science.aaz9463
- Medail, F., & Quezel, P. (1997). Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 112-127.
- Meier, S., Elliott, R., & Strobl, E. (2023). The regional economic impact of wildfires: Evidence from Southern Europe. *Journal of Environmental Economics and Management, 118*, 102787.
- Michel, A., Haggenmüller, K., Kirchner, T., Prescher, A.-K., Schwärzel, K., & Wohlgemuth, L. e. (2024). *Forest Condition in Europe: The 2024 Assessment* (ICP Forests Technical Report under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (Air Convention), Issue. https://www.icp-forests.net/reports-and-briefs/technical-reports
- Milazzo, F., Fernández, P., Peña, A., & Vanwalleghem, T. (2022). The resilience of soil erosion rates under historical land use change in agroecosystems of Southern Spain. *Science of The Total Environment, 822*, 153672. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153672
- Millennium Ecosystem Assessment Board. (2005). *Ecosystems and human well-being: desertification synthesis*. World Resources Institute.
- Miralles, I., Ortega, R., Almendros, G., Sánchez-Marañón, M., & Soriano, M. (2009). Soil quality and organic carbon ratios in mountain agroecosystems of South-east Spain. *Geoderma, 150*(1), 120-128. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.011
- Mirzabaev, A., Wu, J., Evans, J., García-Oliva, F., Hussein, I. A. G., Iqbal, M. H., Kimutai, J., Knowles, T., Meza, F., & Nedjroaoui, D. (Eds.). (2019). *Desertification*. Cambridge University Press.
- MITECO. (2020). *XII Estudio de Inversión y Empleo en el Sector Forestal Años 2019 Y 2020*. https://libreria.miteco.gob.es/libro/xii-estudio-de-inversion-y-empleo-en-el-sector-forestal_2836/
- MITECO. (2021). *Estrategia Forestal Española horizonte 2050*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/politica-forestal/planificacion-forestal/politica-forestal-en-espana/pfe_estrategia_forestal.html
- MITECO. (2022a). *Estrategia de Gestión Cinegética*. https://www.mapa.gob.es/fr/prensa/20220307_engc_definitivo_tcm36-614256.pdf
- MITECO. (2022b). *Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/lucha-contra-la-desertificacion/enld.html#:~:text=La%20Estrategia%20nacional%20de%20lucha%20contra%20la,iniciativas%20relacionadas%20con%20la%20desertificaci%C3%B3n%20en%20Espa%C3%B1a.
- MITECO. (2022c). *Inventario Nacional de Erosión de Suelos* https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-nacional-erosion-suelos.html
- MITECO. (2023a). *Inventario Anual de Daños Forestales*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/redes-europeas-seguimiento-bosques/red_nivel_I_resultados.html
- MITECO. (2023b). *Plan Forestal Español 2022-2032*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/politica-forestal/planificacion-forestal/politica-forestal-en-espana/pfe_plan_forestal_esp.html

- MITECO. (2024a). *Anuario de Estadística Forestal 2022*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/forestal_anuarios_todos.html
- MITECO. (2024b). *Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera, Serie 1990-2023 (Informe Resumen)*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/resumen_inventario_ca_ed_2023_tcm30-560390.pdf
- MITECO. (2025). *Avance informativo de incendios forestales del 1 de enero al 31 de diciembre de 2024*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/Avance%20informativo%2031%20de%20diciembre%202024.pdf
- Modugno, S., Balzter, H., Cole, B., & Borrelli, P. (2016). Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland–Urban Interface areas in Europe. *Journal of Environmental Management, 172*, 112-126. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.013
- Molina, J. R., Rodríguez y Silva, F., & Herrera, M. Á. (2017). Economic vulnerability of fire-prone landscapes in protected natural areas: application in a Mediterranean Natural Park. *European Journal of Forest Research, 136*(4), 609-624. https://doi.org/10.1007/s10342-017-1059-y
- Molina-Navarro, E., Sánchez-Gómez, A., & Martínez-Pérez, S. (2025). Innovating on Hydrological Modelling Calibration Towards a Realistic Simulation of Climate Change Impacts on Water Resources. *Earth Systems and Environment, 9*(2), 901-918. https://doi.org/10.1007/s41748-024-00462-5
- Morán-Ordóñez, A., Duane, A., Gil-Tena, A., De Cáceres, M., Aquilué, N., Guerra, C. A., Geijzendorffer, I. R., Fortin, M. J., & Brotons, L. (2020). Future impact of climate extremes in the Mediterranean: Soil erosion projections when fire and extreme rainfall meet. *Land Degradation & Development, 31*(18), 3040-3054.
- Morán-Ordóñez, A., Ramsauer, J., Coll, L., Brotons, L., & Ameztegui, A. (2021). Ecosystem services provision by Mediterranean forests will be compromised above 2°C warming. *Global Change Biology, 27*(18), 4210-4222.
- Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M. A., Moreno, J. M., Pereira, J. M., Catry, F. X., Armesto, J., Bond, W., & González, M. E. (2020). Wildfire management in Mediterranean-type regions: paradigm change needed. *Environmental Research Letters, 15*(1), 011001.
- Moreno, J. M., Viedma, O., Zavala, G., & Luna, B. (2011). Landscape variables influencing forest fires in central Spain. *International Journal of Wildland Fire, 20*(5), 678-689.
- Moreno, M. V., Conedera, M., Chuvieco, E., & Pezzatti, G. B. (2014). Fire regime changes and major driving forces in Spain from 1968 to 2010. *Environmental Science & Policy, 37*, 11-22. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.08.005
- Moreno-Fernández, D., Cañellas, I., Calama, R., Gordo, J., & Sánchez-González, M. (2013). Thinning increases cone production of stone pine (Pinus pinea L.) stands in the Northern Plateau (Spain). *Annals of Forest Science, 70*(8), 761-768. https://doi.org/10.1007/s13595-013-0319-3
- Morera, A., LeBlanc, H., de Aragón, J. M., Bonet, J. A., & de-Miguel, S. (2024). Analysis of climate change impacts on the biogeographical patterns of species-specific productivity of socioeconomically important edible fungi in Mediterranean forest ecosystems. *Ecological Informatics, 81*, 102557.

- Morera, A., LeBlanc, H., Martínez de Aragón, J., Bonet, J. A., & de Miguel, S. (2024). Analysis of climate change impacts on the biogeographical patterns of species-specific productivity of socioeconomically important edible fungi in Mediterranean forest ecosystems. *Ecological Informatics, 81*, 102557. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102557
- Morgan, R. P. C. (2009). *Soil erosion and conservation*. John Wiley & Sons.
- Mousavi, F., Oteros, J., Shahali, Y., & Carinanos, P. (2024). Impacts of climate change on allergenic pollen production: A systematic review and meta-analysis. *Agricultural and Forest Meteorology, 349*, 109948. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.109948
- Mutke, S., Gordo, J., & Gil, L. (2005). Variability of Mediterranean Stone pine cone production: Yield loss as response to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology, 132*(3), 263-272. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.08.002
- Nabuurs, G.-J., Lindner, M., Verkerk, P. J., Gunia, K., Deda, P., Michalak, R., & Grassi, G. (2013). First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nature Climate Change, 3*(9), 792-796.
- Natalini, F., Alejano, R., Vázquez-Piqué, J., Cañellas, I., & Gea-Izquierdo, G. (2016). The role of climate change in the widespread mortality of holm oak in open woodlands of Southwestern Spain. *Dendrochronologia, 38*, 51-60. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.03.003
- Navarro-Cerrillo, R. M. (2025). Decaimiento en bosques mediterráneos: desentrañando amenazas y abordando retos para su gestión y conservación. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. , 51(1)*, 21-48.
- Navarro-Cerrillo, R. M., Rodríguez-Vallejo, C., Silveiro, E., Hortal, A., Palacios-Rodríguez, G., Duque-Lazo, J., & Camarero, J. J. (2018). Cumulative Drought Stress Leads to a Loss of Growth Resilience and Explains Higher Mortality in Planted than in Naturally Regenerated Pinus pinaster Stands. *Forests, 9*(6), 358. https://www.mdpi.com/1999-4907/9/6/358
- Navarro-Cerrillo, R. M., Ruiz-Gómez, F. J., Camarero, J. J., Castillo, V., Barberá, G. G., Palacios-Rodríguez, G., Navarro, F. B., Blanco, J. A., Imbert, J. B., Cachinero-Vivar, A. M., Molina, A. J., & del Campo, A. D. (2022). Long-Term Carbon Sequestration in Pine Forests under Different Silvicultural and Climatic Regimes in Spain. *Forests, 13*(3), 450. https://www.mdpi.com/1999-4907/13/3/450
- Navarro-Cerrillo, R. M., Sánchez-Salguero, R., Rodríguez, C., Lazo, J. D., Moreno-Rojas, J. M., Palacios-Rodríguez, G., & Camarero, J. J. (2019). Is thinning an alternative when trees could die in response to drought? The case of planted Pinus nigra and P. Sylvestris stands in southern Spain. *Forest Ecology and Management, 433*, 313-324.
- Norby, R. J., Warren, J. M., Iversen, C. M., Medlyn, B. E., & McMurtrie, R. E. (2010). CO2 enhancement of forest productivity constrained by limited nitrogen availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 107*(45), 19368-19373.
- Nunes, M. R., Veum, K. S., Parker, P. A., Holan, S. H., Karlen, D. L., Amsili, J. P., van Es, H. M., Wills, S. A., Seybold, C. A., & Moorman, T. B. (2021). The soil health assessment protocol and evaluation applied to soil organic carbon. *Soil Science Society of America Journal, 85*(4), 1196-1213.
- Obalum, S. E., Chibuike, G. U., Peth, S., & Ouyang, Y. (2017). Soil organic matter as sole indicator of soil degradation. *Environmental Monitoring and Assessment, 189*(4), 176. https://doi.org/10.1007/s10661-017-5881-y

- Oduor, B. O., Campo-Bescós, M. Á., Lana-Renault, N., & Casalí, J. (2023). Effects of climate change on streamflow and nitrate pollution in an agricultural Mediterranean watershed in Northern Spain. *Agricultural Water Management, 285*, 108378.
- Olaya-Abril, A., Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., & Obregón-Romero, R. (2017). Soil organic carbon distribution in Mediterranean areas under a climate change scenario via multiple linear regression analysis. *Science of The Total Environment, 592*, 134-143. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.021
- Oliveira, G., & Costa, A. (2012). How resilient is Quercus suber L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. *Forest Ecology and Management, 270*, 257-272. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.025
- Oliveras Menor, I., Prat-Guitart, N., Spadoni, G. L., Hsu, A., Fernandes, P. M., Puig-Gironès, R., Ascoli, D., Bilbao, B. A., Bacciu, V., Brotons, L., Carmenta, R., de-Miguel, S., Gonçalves, L. G., Humphrey, G., Ibarnegaray, V., Jones, M. W., Machado, M. S., Millán, A., de Morais Falleiro, R., Mouillot, F., Pinto, C., Pons, P., Regos, A., Senra de Oliveira, M., Harrison, S. P., & Armenteras Pascual, D. (2025). Integrated fire management as an adaptation and mitigation strategy to altered fire regimes. *Communications Earth & Environment, 6*(1), 202. https://doi.org/10.1038/s43247-025-02165-9
- Olsson, L., Barbosa, H., Bhadwal, S., Cowie, A., Delusca, K., Flores-Renteria, D., Hermans, K., Jobbagy, E., Kurz, W., Li, D., Sonwa, D. J., & Stringer, L. (2019). Land Degradation. In P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H. O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal-Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, & J. Malley (Eds.), *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (pp. 345-436). Cambridge University Press.
- Orgambides-García, D., Corell, D., Estrela, M. J., Barberà, M. J., & Miró, J. (2024). Trend Analysis and Spatial Behaviour of the Fire Weather Index in the Mediterranean Iberian Peninsula, 1971–2022. *International Journal of Climatology, 44*(16), 6065-6082. https://doi.org/10.1002/joc.8684
- Ormeño, E., Céspedes, B., Sánchez, I. A., Velasco-García, A., Moreno, J. M., Fernandez, C., & Baldy, V. (2009). The relationship between terpenes and flammability of leaf litter. *Forest Ecology and Management, 257*(2), 471-482. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.019
- Ortego, J., Bonal, R., & Muñoz, A. (2010). Genetic Consequences of Habitat Fragmentation in Long-Lived Tree Species: The Case of the Mediterranean Holm Oak (Quercus ilex, L.). *Journal of Heredity, 101*(6), 717-726. https://doi.org/10.1093/jhered/esq081
- Ortuño Pérez, S. F., & Martín Fernández, A. J. (2006). Forest externalities, demography and rural development in inland Spain. *Forest Policy and Economics, 8*(2), 109-122. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2004.05.007
- Owuor, S. O., Butterbach-Bahl, K., Guzha, A. C., Rufino, M. C., Pelster, D. E., Díaz-Pinés, E., & Breuer, L. (2016). Groundwater recharge rates and surface runoff response to land use and land cover changes in semi-arid environments. *Ecological Processes, 5*, 1-21.
- Padullés Cubino, J., Vilà-Cabrera, A., & Retana, J. (2024). Tree species abundance changes at the edges of their climatic distribution: An interplay between climate change, plant traits and forest management. *Journal of Ecology, 112*(12), 2785-2797.

- Paillet, Y., Bergés, L., Hjaltén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R.-J., De Bruyn, L., Furh, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastiá, M.-T., Schmidt, W., Stantdovár, T., Tóthmérész, B., Uotila, A., Valladares, F., Vellak, K., & Virtanen, R. (2010). Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology, 24*(1), 101-112. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x
- Palma, J. H. N., Paulo, J. A., Faias, S. P., Garcia-Gonzalo, J., Borges, J. G., & Tomé, M. (2015). Adaptive management and debarking schedule optimization of Quercus suber L. stands under climate change: case study in Chamusca, Portugal. *Regional Environmental Change, 15*(8), 1569-1580. https://doi.org/10.1007/s10113-015-0818-x
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Phillips, O. L., Houghton, R. A., Fang, J., Kauppi, P. E., Keith, H., Kurz, W. A., Ito, A., & Lewis, S. L. (2024). The enduring world forest carbon sink. *Nature, 631*(8021), 563-569.
- Panagos, P., Ballabio, C., Himics, M., Scarpa, S., Matthews, F., Bogonos, M., Poesen, J., & Borrelli, P. (2021). Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science & Policy, 124*, 380-392.
- Panagos, P., Ballabio, C., Meusburger, K., Spinoni, J., Alewell, C., & Borrelli, P. (2017). Towards estimates of future rainfall erosivity in Europe based on REDES and WorldClim datasets. *Journal of Hydrology, 548*, 251-262.
- Pardos, M., Calama, R., Maroschek, M., Rammer, W., & Lexer, M. J. (2015). A model-based analysis of climate change vulnerability of Pinus pinea stands under multiobjective management in the Northern Plateau of Spain. *Annals of Forest Science, 72*(8), 1009-1021. https://doi.org/10.1007/s13595-015-0520-7
- Parra, G., Guerrero, F., Armengol, J., Brendonck, L., Brucet, S., Finlayson, C. M., Gomes-Barbosa, L., Grillas, P., Jeppesen, E., & Ortega, F. (2021). The future of temporary wetlands in drylands under global change. *Inland Waters, 11*(4), 445-456.
- Paula, S., Arianoutsou, M., Kazanis, D., Tavsanoglu, Ç., Lloret, F., Buhk, C., Ojeda, F., Luna, B., Moreno, J., & Rodrigo, A. (2009). Fire-related traits for plant species of the Mediterranean Basin: Ecological Archives E090-094. *Ecology, 90*(5), 1420-1420.
- Pausas, J. G. (2015). Bark thickness and fire regime. *Functional Ecology, 29*(3), 315-327.
- Pausas, J. G., Keeley, J. E., & Schwilk, D. W. (2017). Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology, 105*(2), 289-297. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12691
- Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A., & Vallejo, R. (2008). Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin?–A review. *International Journal of Wildland Fire, 17*(6), 713-723.
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography, 12*(5), 361-371. https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x
- Peñuelas, J., & Sardans, J. (2021). Global change and forest disturbances in the Mediterranean basin: Breakthroughs, knowledge gaps, and recommendations. *Forests, 12*(5), 603.
- Penuelas, J., Fernández-Martínez, M., Vallicrosa, H., Maspons, J., Zuccarini, P., Carnicer, J., Sanders, T. G., Krüger, I., Obersteiner, M., & Janssens, I. A. (2020). Increasing atmospheric CO2 concentrations correlate with declining nutritional status of European forests. *Communications Biology, 3*(1), 125.

- Peñuelas, J., Ogaya, R., Boada, M., & S. Jump, A. (2007). Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain). *Ecography, 30*(6), 829-837. https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05247.x
- Peñuelas, J., Sardans, J., Filella, I., Estiarte, M., Llusià, J., Ogaya, R., Carnicer, J., Bartrons, M., Rivas-Ubach, A., & Grau, O. (2017). Impacts of global change on Mediterranean forests and their services. *Forests, 8*(12), 463.
- Pereira, M., Caramelo, L., Gouveia, C., Gomes-Laranjo, J., & Magalhães, M. (2011). Assessment of weather-related risk on chestnut productivity. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 11*(10), 2729-2739.
- Perez, S. O., Garcia-Robredo, F., Tellez, E. A., & Belda, C. F. (2013). Effects of the crisis in the resin sector on the demography of rural municipalities in Spain. *Forest systems, 22*(1), 39-46.
- Pérez-Girón, J. C., Díaz-Varela, E. R., & Álvarez-Álvarez, P. (2022). Climate-driven variations in productivity reveal adaptive strategies in Iberian cork oak agroforestry systems. *Forest Ecosystems, 9*, 100008. https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100008
- Pérez-Ramos, I. M., Ourcival, J. M., Limousin, J. M., & Rambal, S. (2010). Mast seeding under increasing drought: results from a long-term data set and from a rainfall exclusion experiment. *Ecology, 91*(10), 3057-3068. https://doi.org/10.1890/09-2313.1
- Pérez-Valera, E., Verdú, M., Navarro-Cano, J., & Goberna, M. (2020). Soil microbiome drives the recovery of ecosystem functions after fire. *Soil Biology and Biochemistry, 149*, 107948.
- Pescador, D. S., Vayreda, J., Escudero, A., & Lloret, F. (2022). El potencial del Inventario Forestal Nacional para evaluar el estado de conservación de los tipos de Hábitat forestales de Interés Comunitario: nuevos retos para cumplir con las políticas de conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas, 31*(3), 2384-2384.
- Phillips, M. L., McNellis, B. E., Howell, A., Lauria, C. M., Belnap, J., & Reed, S. C. (2022). Biocrusts mediate a new mechanism for land degradation under a changing climate. *Nature Climate Change, 12*(1), 71-76.
- Pilli, R., Alkama, R., Cescatti, A., Kurz, W. A., & Grassi, G. (2022). The European forest carbon budget under future climate conditions and current management practices. *Biogeosciences, 19*(13), 3263-3284. https://doi.org/10.5194/bg-19-3263-2022
- Plieninger, T., Hui, C., Gaertner, M., & Huntsinger, L. (2014). The impact of land abandonment on species richness and abundance in the Mediterranean Basin: a meta-analysis. *PLoS One, 9*(5), e98355.
- Poggi, F., Firmino, A., & Amado, M. (2018). Planning renewable energy in rural areas: Impacts on occupation and land use. *Energy, 155*, 630-640.
- Pons, J., & Pausas, J. G. (2007). Acorn dispersal estimated by radio-tracking. *Oecologia, 153*(4), 903-911. https://doi.org/10.1007/s00442-007-0788-x
- Prajapati, H. A., Yadav, K., Hanamasagar, Y., Kumar, M. B., Khan, T., Belagalla, N., Thomas, V., Jabeen, A., Gomadhi, G., & Malathi, G. (2024). Impact of climate change on global agriculture: Challenges and adaptation. *Int. J. Environ. Clim. Change, 14*(4), 372-379.
- Prăvălie, R., Borrelli, P., Panagos, P., Ballabio, C., Lugato, E., Chappell, A., Miguez-Macho, G., Maggi, F., Peng, J., & Niculiță, M. (2024). A unifying modelling of multiple land degradation pathways in Europe. *Nature Communications, 15*(1), 3862.

- Pressler, Y., Moore, J. C., & Cotrufo, M. F. (2019). Belowground community responses to fire: meta-analysis reveals contrasting responses of soil microorganisms and mesofauna. *Oikos, 128*(3), 309-327. https://doi.org/10.1111/oik.05738
- Prigent, O., Wynn Owen, P., Homrich Hickmann, M., Bryan, K., Caruda Ruiz, A., Huth, J., Bortnowschi, R., Friel, C., Gilson, V., & Roberts, G. (2018). Combating desertification in the EU: A growing threat in need of more action. *Eur. Court. Audit, 33*, 65.
- Prodon, R. (2021). Birds and the Fire Cycle in a Resilient Mediterranean Forest: Is There Any Baseline? *Forests, 12*(12), 1644. https://www.mdpi.com/1999-4907/12/12/1644
- Pulido-Velazquez, D., Collados-Lara, A. J., Pérez-Sánchez, J., Segura-Méndez, F. J., & Senent-Aparicio, J. (2021). Climate change impacts on the streamflow in Spanish basins monitored under near-natural conditions. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 38*, 100937. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100937
- Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., & Genovesi, P. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews, 95*(6), 1511-1534.
- Ramírez-Juidias, E., Madueño-Luna, A., Madueño-Luna, J. M., López-Gordillo, M. C., & Leiva-Piedra, J. L. (2023). Applying Remote Sensing Methods to Estimate Alterations in Land Cover Change and Degradation in the Desert Regions of the Southeast Iberian Peninsula. *Remote Sensing, 15*(16), 3984.
- Ramírez-Valiente, J. A., Santos del Blanco, L., Alía, R., Robledo-Arnuncio, Juan J., & Climent, J. (2022). Adaptation of Mediterranean forest species to climate: Lessons from common garden experiments. *Journal of Ecology, 110*(5), 1022-1042. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13730
- Rawls, W., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J., Sobecki, T., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma, 116*(1-2), 61-76.
- Rebollo, P., Moreno-Fernández, D., Cruz-Alonso, V., Gazol, A., Rodríguez-Rey, M., Astigarraga, J., Zavala, M. A., Gómez-Aparicio, L., Andivia, E., Miguel-Romero, S., & Ruiz-Benito, P. (2024). Recent increase in tree damage and mortality and their spatial dependence on drought intensity in Mediterranean forests. *Landscape Ecology, 39*(3), 38. https://doi.org/10.1007/s10980-024-01837-9
- Rego, F. C., Morgan, P., Fernandes, P., Hoffman, C., Castro Rego, F., Morgan, P., Fernandes, P., & Hoffman, C. (2021). Fire Propagation. *Fire Science: From Chemistry to Landscape Management*, 115-174.
- Rehm, E. M., Olivas, P., Stroud, J., & Feeley, K. J. (2015). Losing your edge: climate change and the conservation value of range-edge populations. *Ecology and Evolution, 5*(19), 4315-4326. https://doi.org/10.1002/ece3.1645
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A. K., & Hassan, R. (2005). *Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press.
- Resco de Dios, V., Arteaga, C., Peguero-Pina, J. J., Sancho-Knapik, D., Qin, H., Zveushe, O. K., Sun, W., Williams, D. G., Boer, M. M., Voltas, J., Moreno, J. M., Tissue, D. T., & Gil-Pelegrín, E. (2020). Hydraulic and photosynthetic limitations prevail over root non-structural carbohydrate reserves as drivers of resprouting in two Mediterranean oaks. *Plant, Cell & Environment, 43*(8), 1944-1957. https://doi.org/10.1111/pce.13781

- Retana, J., Maria Espelta, J., Habrouk, A., Luis OrdoÑEz, J., & de Solà-Morales, F. (2002). Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in northeastern Spain. *Ecoscience, 9*(1), 89-97.
- Reyer, C., Lasch-Born, P., Suckow, F., Gutsch, M., Murawski, A., & Pilz, T. (2014). Projections of regional changes in forest net primary productivity for different tree species in Europe driven by climate change and carbon dioxide. *Annals of Forest Science, 71*, 211-225.
- Reynolds, J. F., Smith, D. M. S., Lambin, E. F., Turner, B., Mortimore, M., Batterbury, S. P., Downing, T. E., Dowlatabadi, H., Fernández, R. J., & Herrick, J. E. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *Science, 316*(5826), 847-851.
- Ribeiro, S., Cerveira, A., Soares, P., & Fonseca, T. (2022). Natural Regeneration of Maritime Pine: A Review of the Influencing Factors and Proposals for Management. *Forests, 13*(3), 386. https://www.mdpi.com/1999-4907/13/3/386
- Robinet, C., Baier, P., Pennerstorfer, J., Schopf, A., & Roques, A. (2007). Modelling the effects of climate change on the potential feeding activity of Thaumetopoea pityocampa (Den. & Schiff.) (Lep., Notodontidae) in France. *Global Ecology and Biogeography, 16*(4), 460-471. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00302.x
- Roces-Díaz, J. V., Vayreda, J., De Cáceres, M., García-Valdés, R., Banqué-Casanovas, M., Morán-Ordóñez, A., Brotons, L., de-Miguel, S., & Martínez-Vilalta, J. (2021). Temporal changes in Mediterranean forest ecosystem services are driven by stand development, rather than by climate-related disturbances. *Forest Ecology and Management, 480*, 118623.
- Rodrigo, A., Retana, J., & Picó, F. X. (2004). Direct regeneration is not the only response of Mediterranean forests to large fires. *Ecology, 85*(3), 716-729. https://doi.org/10.1890/02-0492
- Rodrigues do Nascimento, F. (2023). Deserts, Desertification and Environmental Degradation in the World. In *Global Environmental Changes, Desertification and Sustainability* (pp. 49-60). Springer.
- Rodrigues, M., Cunill Camprubí, À., Balaguer-Romano, R., Coco Megía, C. J., Castañares, F., Ruffault, J., Fernandes, P. M., & Resco de Dios, V. (2023). Drivers and implications of the extreme 2022 wildfire season in Southwest Europe. *Science of The Total Environment, 859*, 160320. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160320
- Rodrigues, M., de la Riva, J., Domingo, D., Lamelas, T., Ibarra, P., Hoffrén, R., & García-Martín, A. (2024). An empirical assessment of the potential of post-fire recovery of tree-forest communities in Mediterranean environments. *Forest Ecology and Management, 552*, 121587. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121587
- Rodrigues, M., Jiménez-Ruano, A., & de la Riva, J. (2020). Fire regime dynamics in mainland Spain. Part 1: Drivers of change. *Science of The Total Environment, 721*, 135841. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135841
- Rodrigues, M., Jiménez-Ruano, A., Peña-Angulo, D., & de la Riva, J. (2018). A comprehensive spatial-temporal analysis of driving factors of human-caused wildfires in Spain using Geographically Weighted Logistic Regression. *Journal of Environmental Management, 225*, 177-192. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.098
- Rodrigues, M., Trigo, R. M., Vega-García, C., & Cardil, A. (2020). Identifying large fire weather typologies in the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology, 280*, 107789.

- Rodríguez de Prado, D., Vázquez Veloso, A., Quian, Y. F., Ruano, I., Bravo, F., & Herrero de Aza, C. (2023). Can mixed forests sequester more CO2 than pure forests in future climate scenarios? A case study of Pinus sylvestris combinations in Spain. *European Journal of Forest Research, 142*(1), 91-105.
- Rodríguez Urbieta, I., García, L. V., Zavala, M. A., & Marañón, T. (2011). Mediterranean pine and oak distribution in southern Spain: Is there a mismatch between regeneration and adult distribution?
- Rodríguez-Berbel, N., Soria, R., Ortega, R., Lucas-Borja, M. E., & Miralles, I. (2022). Agricultural land degradation in Spain. In *Impact of Agriculture on Soil Degradation II: A European Perspective* (pp. 263-297). Springer.
- Rodríguez-García, A., Martín, J. A., López, R., Mutke, S., Pinillos, F., & Gil, L. (2015). Influence of climate variables on resin yield and secretory structures in tapped Pinus pinaster Ait. in central Spain. *Agricultural and Forest Meteorology, 202*, 83-93. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.023
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A. H., Nieto, S., & Garmendia, J. (1998). Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology, 18*(3), 299-316. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19980315)18:3<299::AID-JOC247>3.0.CO;2-L
- Rojo Serrano, L., Martínez Ruiz, A., Bravo Llorente, R., Sanabria Donoso, J. J., & Martín Pérez, S. (2022). *Mapa del carbono orgánico del suelo en España: Estimación a partir de los datos del Inventario Nacional de Erosión de Suelos*. M. p. I. T. E. y. e. R. D. (MITECO).
- Romay-Río, M. F., Castedo-Dorado, F., Ayres, M. P., Prado, A. N., & Lombardero, M. J. (2024). Interactions between invasive pests and pathogens in a native chestnut forest. *NeoBiota, 95*, 199-220.
- Rouault, G., Candau, J.-N., Lieutier, F., Nageleisen, L.-M., Martin, J.-C., & Warzée, N. (2006). Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann. For. Sci., 63*(6), 613-624. https://doi.org/10.1051/forest:2006044
- Rouhani, A., Ben-Salem, N., D'Oria, M., Silva, R. C. G., Viglione, A., Copty, N. K., Rode, M., Barry, D. A., Gómez-Hernández, J. J., & Jomaa, S. (2025). Direct impact of climate change on groundwater levels in the Iberian Peninsula. *Science of The Total Environment, 970*, 179009.
- Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P. J., Renard Truong, T., Meyerson, L. A., Bacher, S., Galil, B. S., Hulme, P. E., Ikeda, T., & Kavileveettil, S. (2024). Curbing the major and growing threats from invasive alien species is urgent and achievable. *Nature Ecology & Evolution, 8*(7), 1216-1223.
- Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P., Renard Truong, T., Bacher, S., Galil, B. S., Hulme, P. E., Ikeda, T., Sankaran, K., & McGeoch, M. A. (2023). *The thematic assessment report on Invasive Alien Species and their control: Summary for policymakers*.
- Royé, D., Tedim, F., Martin-Vide, J., Salis, M., Vendrell, J., Lovreglio, R., Bouillon, C., & Leone, V. (2020). Wildfire burnt area patterns and trends in Western Mediterranean Europe via the application of a concentration index. *Land Degradation & Development, 31*(3), 311-324. https://doi.org/10.1002/ldr.3450
- Rubio-Cuadrado, Á., López, R., Rodríguez-Calcerrada, J., & Gil, L. (2021). Stress and tree mortality in Mediterranean pine forests: anthropogenic influences. *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*, 141-181.

- Ruffault, J., Curt, T., Moron, V., Trigo, R. M., Mouillot, F., Koutsias, N., Pimont, F., Martin-StPaul, N., Barbero, R., Dupuy, J.-L., Russo, A., & Belhadj-Khedher, C. (2020). Increased likelihood of heat-induced large wildfires in the Mediterranean Basin. *Scientific Reports, 10*(1), 13790. https://doi.org/10.1038/s41598-020-70069-z

- Ruiz-Benito, P., Gómez-Aparicio, L., & Zavala, M. A. (2012). Large-scale assessment of regeneration and diversity in Mediterranean planted pine forests along ecological gradients. *Diversity and Distributions, 18*(11), 1092-1106. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2012.00901.x

- Ruiz-Benito, P., Gómez-Aparicio, L., Paquette, A., Messier, C., Kattge, J., & Zavala, M. A. (2014). Diversity increases carbon storage and tree productivity in S panish forests. *Global Ecology and Biogeography, 23*(3), 311-322.

- Ruiz-Benito, P., Lines, E. R., Gómez-Aparicio, L., Zavala, M. A., & Coomes, D. A. (2013). Patterns and Drivers of Tree Mortality in Iberian Forests: Climatic Effects Are Modified by Competition. *PLoS One, 8*(2), e56843. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056843

- Ruiz-Benito, P., Ratcliffe, S., Jump, A. S., Gómez-Aparicio, L., Madrigal-González, J., Wirth, C., Kändler, G., Lehtonen, A., Dahlgren, J., Kattge, J., & Zavala, M. A. (2017). Functional diversity underlies demographic responses to environmental variation in European forests. *Global Ecology and Biogeography, 26*(2), 128-141. https://doi.org/10.1111/geb.12515

- Ruiz-Labourdette, D., Martínez, F., Martín-López, B., Montes, C., & Pineda, F. D. (2011). Equilibrium of vegetation and climate at the European rear edge. A reference for climate change planning in mountainous Mediterranean regions. *International Journal of Biometeorology, 55*(3), 285-301. https://doi.org/10.1007/s00484-010-0334-0

- Ruiz-Labourdette, D., Nogués-Bravo, D., Ollero, H. S., Schmitz, M. F., & Pineda, F. D. (2012). Forest composition in Mediterranean mountains is projected to shift along the entire elevational gradient under climate change. *Journal of Biogeography, 39*(1), 162-176. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02592.x

- Ruiz-Peinado, R., Oviedo, J. A. B., Senespleda, E. L., Oviedo, F. B., & del Río Gaztelurrutia, M. (2017). Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. *Forest Systems, 26*(2), 10.

- Russo, A., Gouveia, C. M., Páscoa, P., DaCamara, C. C., Sousa, P. M., & Trigo, R. M. (2017). Assessing the role of drought events on wildfires in the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology, 237-238*, 50-59. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.021

- Sabaté, S., Nadal-Sala, D., & Gracia, C. (2015). Proyecciones sobre la evolución de los balances de carbono y agua para los bosques españoles en el contexto del cambio climático. In *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, vulnerabilidad y Adaptación en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid*.

- Sabatini, F. M., Burrascano, S., Keeton, W. S., Levers, C., Lindner, M., Pötzschner, F., Verkerk, P. J., Bauhus, J., Buchwald, E., Chaskovsky, O., Debaive, N., Horváth, F., Garbarino, M., Grigoriadis, N., Lombardi, F., Marques Duarte, I., Meyer, P., Midteng, R., Mikac, S., Mikoláš, M., Motta, R., Mozgeris, G., Nunes, L., Panayotov, M., Ódor, P., Ruete, A., Simovski, B., Stillhard, J., Svoboda, M., Szwagrzyk, J., Tikkanen, O.-P., Volosyanchuk, R., Vrska, T., Zlatanov, T., & Kuemmerle, T. (2018). Where are Europe's last primary forests? *Diversity and Distributions, 24*(10), 1426-1439. https://doi.org/10.1111/ddi.12778

- Saco, P., McDonough, K., Rodríguez, J., Rivera-Zayas, J., & Sandi, S. (2021). The role of soils in the regulation of hazards and extreme events. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, 376*(1834), 20200178.
- Sainz Ollero, H., & Sánchez de Dios, R. (2011). La diversidad de los paisajes españoles. *Memorias R. Soc. Esp. Hist Nat, 2ª Ép., 9*, 109-155.
- Sánchez de Dios, R., DeSoto, L., Cortón, B., & Hernández, L. (2023). The Renaissance of Mixed Forests? New Insights Into Shifts in Tree Dominance and Composition Following Centuries of Human-induced Simplification of Iberian Forests. *Ecosystems, 26*(6), 1159-1172. https://doi.org/10.1007/s10021-023-00823-7
- Sánchez González, M., Calama, R., & Bonet, J. A. (2020). Los productos forestales no madereros en España: Del monte a la industria.
- Sánchez-Salguero, R., Navarro-Cerrillo, R. M., Camarero, J. J., & Fernández-Cancio, Á. (2012). Selective drought-induced decline of pine species in southeastern Spain. *Climatic Change, 113*(3), 767-785. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0372-6
- Sánchez-Salguero, R., Navarro-Cerrillo, R. M., Swetnam, T. W., & Zavala, M. A. (2012). Is drought the main decline factor at the rear edge of Europe? The case of southern Iberian pine plantations. *Forest Ecology and Management, 271*, 158-169. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.040
- Santiago, J. M., Alonso, C., García de Jalón, D., Solana-Gutiérrez, J., & Muñoz-Mas, R. (2020). Effects of climate change on the life stages of stream-dwelling brown trout (Salmo trutta Linnaeus, 1758) at the rear edge of their native distribution range. *Ecohydrology, 13*(7), e2241. https://doi.org/10.1002/eco.2241
- Santini, L., Benítez-López, A., Maiorano, L., Čengić, M., & Huijbregts, M. A. J. (2021). Assessing the reliability of species distribution projections in climate change research. *Diversity and Distributions, 27*(6), 1035-1050. https://doi.org/10.1111/ddi.13252
- Santoni, P., Bartoli, P., Simeoni, A., & Torero, J. (2014). Bulk and particle properties of pine needle fuel beds–influence on combustion. *International Journal of Wildland Fire, 23*(8), 1076-1086.
- Sanz, M. J. y. G., E. (editoras). (2020). Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. . https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/impactos-cambio-climatico-espana.html
- Schueler, S., Falk, W., Koskela, J., Lefèvre, F., Bozzano, M., Hubert, J., Kraigher, H., Longauer, R., & Olrik, D. C. (2014). Vulnerability of dynamic genetic conservation units of forest trees in Europe to climate change. *Global Change Biology, 20*(5), 1498-1511. https://doi.org/10.1111/gcb.12476
- Scott, D. F., Curran, M. P., Robichaud, P. R., & Wagenbrenner, J. W. (2009). Soil erosion after forest fire. *Fire effects on soils and restoration strategies*, 177-195.
- Seebens, H., Bacher, S., Blackburn, T. M., Capinha, C., Dawson, W., Dullinger, S., Genovesi, P., Hulme, P. E., Van Kleunen, M., & Kühn, I. (2021). Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. *Global Change Biology, 27*(5), 970-982.
- Segura, C., Jiménez, M. N., Nieto, O., Navarro, F. B., & Fernández-Ondoño, E. (2016). Changes in soil organic carbon over 20years after afforestation in semiarid SE Spain. *Forest Ecology and Management, 381*, 268-278. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.035

- Selkimäki, M., & González-Olabarria, J. R. (2017). Assessing Gully Erosion Occurrence in Forest Lands in Catalonia (Spain). *Land Degradation & Development, 28*(2), 616-627. https://doi.org/10.1002/ldr.2533
- Selkimäki, M., González-Olabarria, J. R., & Pukkala, T. (2012). Site and stand characteristics related to surface erosion occurrence in forests of Catalonia (Spain). *European Journal of Forest Research, 131*(3), 727-738. https://doi.org/10.1007/s10342-011-0545-x
- Selkimäki, M., González-Olabarria, J. R., Trasobares, A., & Pukkala, T. (2020). Trade-offs between economic profitability, erosion risk mitigation and biodiversity in the management of uneven-aged Abies alba Mill. stands. *Annals of Forest Science, 77*(1), 12. https://doi.org/10.1007/s13595-019-0914-z
- Senande-Rivera, M., Insua-Costa, D., & Miguez-Macho, G. (2025). Climate change aggravated wildfire behaviour in the Iberian Peninsula in recent years. *npj Climate and Atmospheric Science, 8*(1), 19. https://doi.org/10.1038/s41612-025-00906-3
- Senent-Aparicio, J., Liu, S., Pérez-Sánchez, J., López-Ballesteros, A., & Jimeno-Sáez, P. (2018). Assessing Impacts of Climate Variability and Reforestation Activities on Water Resources in the Headwaters of the Segura River Basin (SE Spain). *Sustainability, 10*(9), 3277. https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3277
- Senent-Aparicio, J., López-Ballesteros, A., Cabezas, F., Pérez-Sánchez, J., & Molina-Navarro, E. (2021). A modelling approach to forecast the effect of climate change on the Tagus-Segura interbasin water transfer. *Water Resources Management, 35*, 3791-3808.
- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Luca, A. D., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., & Lewis, S. (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate. In V. P. Masson-Delmotte, A. Zhai, S. L. Pirani, & C. Connors (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1513-1766). Cambridge University Press.
- Serra-Varela, M. J., Alía, R., Pórtoles, J., Gonzalo, J., Soliño, M., Grivet, D., & Raposo, R. (2017). Incorporating exposure to pitch canker disease to support management decisions of Pinus pinaster Ait. in the face of climate change. *PLoS One, 12*(2), e0171549. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171549
- Sicard, M., Granados-Muñoz, M. J., Alados-Arboledas, L., Barragán, R., Bedoya-Velásquez, A. E., Benavent-Oltra, J. A., Bortoli, D., Comerón, A., Córdoba-Jabonero, C., & Costa, M. J. (2019). Ground/space, passive/active remote sensing observations coupled with particle dispersion modelling to understand the inter-continental transport of wildfire smoke plumes. *Remote Sensing of Environment, 232*, 111294.
- Soultan, A., Pavón-Jordán, D., Bradter, U., Sandercock, B., Hochachka, W., Johnston, A., Brommer, J., Gaget, E., Keller, V., Knaus, P., Aghababyan, K., Maxhuni, Q., Vintchevski, A., Nagy, K., Raudonikis, L., Balmer, D., Noble, D., Leitão, D., Øien, I., & Pärt, T. (2022). The future distribution of wetland birds breeding in Europe validated against observed changes in distribution. *Environmental Research Letters, 17*. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4ebe
- Sousa, P. M., Trigo, R. M., Pereira, M. G., Bedia, J., & Gutiérrez, J. M. (2015). Different approaches to model future burnt area in the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology, 202*, 11-25. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.018

- Stenseth, N. C., & Mysterud, A. (2002). Climate, changing phenology, and other life history traits: Nonlinearity and match–mismatch to the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 99*(21), 13379-13381. https://doi.org/doi:10.1073/pnas.212519399
- Tablado, Z., & Revilla, E. (2012). Contrasting effects of climate change on rabbit populations through reproduction. *PLoS One, 7*(11), e48988.
- Taheri, S., Naimi, B., Rahbek, C., & Araújo, M. B. (2021). Improvements in reports of species redistribution under climate change are required. *Science Advances, 7*(15), eabe1110. https://doi.org/doi:10.1126/sciadv.abe1110
- Tapias, R., Climent, J., Pardos, J. A., & Gil, L. (2004). Life histories of Mediterranean pines. *Plant Ecology, 171*, 53-68.
- Tariq, A., Sardans, J., Zeng, F., Graciano, C., Hughes, A. C., Farré-Armengol, G., & Peñuelas, J. (2024). Impact of aridity rise and arid lands expansion on carbon-storing capacity, biodiversity loss, and ecosystem services. *Global Change Biology, 30*(4), e17292.
- Taye, F. A., Folkersen, M. V., Fleming, C. M., Buckwell, A., Mackey, B., Diwakar, K. C., Le, D., Hasan, S., & Ange, C. S. (2021). The economic values of global forest ecosystem services: A meta-analysis. *Ecological Economics, 189*, 107145. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107145
- Thomas, P., & Büntgen, U. (2019). A risk assessment of Europe's black truffle sector under predicted climate change. *Science of The Total Environment, 655*, 27-34. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.252
- Tiberi, R., Branco, M., Bracalini, M., Croci, F., & Panzavolta, T. (2016). Cork oak pests: a review of insect damage and management. *Annals of Forest Science, 73*(2), 219-232. https://doi.org/10.1007/s13595-015-0534-1
- Tijerín-Triviño, J., Lines, E. R., Zavala, M. A., García, M., Astigarraga, J., Cruz-Alonso, V., Dahlgren, J., & Ruiz-Benito, P. (2025). Forest Productivity Decreases in Response to Recent Changes in Vegetation Structure and Climate in the Latitudinal Extremes of the European Continent. *Global Ecology and Biogeography, 34*(2), e70011.
- Tíscar, P. A., & Lucas-Borja, M. E. (2016). Structure of old-growth and managed stands and growth of old trees in a Mediterranean Pinus nigra forest in southern Spain. *Forestry: An International Journal of Forest Research, 89*(2), 201-207. https://doi.org/10.1093/forestry/cpw002
- Torres, I., Pérez, B., Quesada, J., Viedma, O., & Moreno, J. M. (2016). Forest shifts induced by fire and management legacies in a Pinus pinaster woodland. *Forest Ecology and Management, 361*, 309-317. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.027
- Torres-Vázquez, M. Á., Di Giuseppe, F., Moreno-Torreira, A., Gincheva, A., Jerez, S., & Turco, M. (2025). Large increase in extreme fire weather synchronicity over Europe. *Environmental Research Letters, 20*(2), 024045. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ada8c2
- Trumbore, S., Brando, P., & Hartmann, H. (2015). Forest health and global change. *Science, 349*(6250), 814-818. https://doi.org/doi:10.1126/science.aac6759
- Turco, M., Rosa-Cánovas, J. J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J. P., Llasat, M. C., & Provenzale, A. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. *Nature Communications, 9*(1), 3821. https://doi.org/10.1038/s41467-018-06358-z

- Turiel-Santos, S., Calvo, L., Martín Pinto, P., & Taboada, A. (2024). Large wildfires alter the potential capacity of fire-prone Mediterranean pine forests to provide wild edible mushrooms over the long term. *Trees, Forests and People, 18*, 100658. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100658
- UNCCD. (2017). *Global Land Outlook*. https://www.unccd.int/resources/global-land-outlook/overview
- UNDRR. (2022). *Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change*. https://www.undrr.org/publication/technical-guidance-comprehensive-risk-assessment-and-planning-context-climate-change
- Urbieta, I. R., Franquesa, M., Viedma, O., & Moreno, J. M. (2019). Fire activity and burned forest lands decreased during the last three decades in Spain. *Annals of Forest Science, 76*, 1-13.
- Urbieta, I. R., Zavala, G., Bedia, J., Gutiérrez, J. M., San Miguel-Ayanz, J., Camia, A., Keeley, J. E., & Moreno, J. M. (2015). Fire activity as a function of fire–weather seasonal severity and antecedent climate across spatial scales in southern Europe and Pacific western USA. *Environmental Research Letters, 10*(11), 114013.
- Vadell Guiral, E., Miguel Magaña, S. d., & Pemán García, J. (2019). La repoblación forestal en España: las especies utilizadas desde 1877 a partir de las cartografías forestales.
- Vadell, E., de-Miguel, S., & Pemán, J. (2016). Large-scale reforestation and afforestation policy in Spain: A historical review of its underlying ecological, socioeconomic and political dynamics. *Land use policy, 55*, 37-48. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.03.017
- Vadell, E., Pemán, J., Verkerk, P. J., Erdozain, M., & de-Miguel, S. (2022). Forest management practices in Spain: Understanding past trends to better face future challenges. *Forest Ecology and Management, 524*, 120526. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120526
- Vähätalo, A. V., Rainio, K., Lehikoinen, A., & Lehikoinen, E. (2004). Spring arrival of birds depends on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Avian Biology, 35*(3), 210-216. https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2004.03199.x
- Valbuena-Carabaña, M., de Heredia, U. L., Fuentes-Utrilla, P., González-Doncel, I., & Gil, L. (2010). Historical and recent changes in the Spanish forests: A socio-economic process. *Review of Palaeobotany and Palynology, 162*(3), 492-506. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.11.003
- Valette, J.-C. (1990). Inflammabilités des espèces forestières méditerranéennes. Conséquences sur la combustibilité des formations forestières. *Revue forestière française, 42*(Spécial), 76-92.
- Van Oost, K., Quine, T., Govers, G., De Gryze, S., Six, J., Harden, J., Ritchie, J., McCarty, G., Heckrath, G., & Kosmas, C. (2007). The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. *Science, 318*(5850), 626-629.
- Vayreda, J., Gracia, M., Martinez-Vilalta, J., Canadell, J., & Retana, J. (2015). Vulnerabilidad de los bosques españoles al cambio global: efectos sobre el stock y la capacidad de sumidero de carbono. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación de los bosques y la biodiversidad en España frente al cambio climático. Madrid: MAGRAMA*.
- Vayreda, J., Martinez-Vilalta, J., Gracia, M., & Retana, J. (2012). Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests. *Global Change Biology, 18*(3), 1028-1041. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02606.x
- Vázquez, A., & Moreno, J. M. (1998). Patterns of lightning-, and people-caused fires in peninsular Spain. *International Journal of Wildland Fire, 8*(2), 103-115.

- Vázquez-González, C., Sampedro, L., López-Goldar, X., & Zas, R. (2021). Genetic and ecological basis of resistance to herbivorous insects in Mediterranean pines. In G. Ne'eman & Y. Osem (Eds.), *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin* (pp. 199-233). Springer International Publishing.
- Vecín-Arias, D., Castedo-Dorado, F., Ordóñez, C., & Rodríguez-Pérez, J. R. (2016). Biophysical and lightning characteristics drive lightning-induced fire occurrence in the central plateau of the Iberian Peninsula. *Agricultural and Forest Meteorology, 225*, 36-47. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.003
- Velázquez, E., Martínez-Jaraíz, C., Wheeler, C., Mitchard, E. T., & Bravo, F. (2022). Forest expansion in abandoned agricultural lands has limited effect to offset carbon emissions from Central-North Spain. *Regional Environmental Change, 22*(4), 132.
- Venäläinen, A., Korhonen, N., Hyvärinen, O., Koutsias, N., Xystrakis, F., Urbieta, I. R., & Moreno, J. M. (2014). Temporal variations and change in forest fire danger in Europe for 1960–2012. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14*(6), 1477-1490. https://doi.org/10.5194/nhess-14-1477-2014
- Versini, P. A., Velasco, M., Cabello, A., & Sempere-Torres, D. (2013). Hydrological impact of forest fires and climate change in a Mediterranean basin. *Natural Hazards, 66*(2), 609-628. https://doi.org/10.1007/s11069-012-0503-z
- Vessella, F., López-Tirado, J., Simeone, M. C., Schirone, B., & Hidalgo, P. J. (2017). A tree species range in the face of climate change: cork oak as a study case for the Mediterranean biome. *European Journal of Forest Research, 136*(3), 555-569. https://doi.org/10.1007/s10342-017-1055-2
- Vicente, J., Höfle, U., Fernández-De-Mera, I. G., & Gortazar, C. (2007). The importance of parasite life history and host density in predicting the impact of infections in red deer. *Oecologia, 152*(4), 655-664. https://doi.org/10.1007/s00442-007-0690-6
- Vicente-Serrano, S. M., Tramblay, Y., Reig, F., González-Hidalgo, J. C., Beguería, S., Brunetti, M., Kalin, K. C., Patalen, L., Kržič, A., & Lionello, P. (2025). High temporal variability not trend dominates Mediterranean precipitation. *Nature, 639*(8055), 658-666.
- Vicente-Serrano, S. M., Tramblay, Y., Reig, F., González-Hidalgo, J. C., Beguería, S., Brunetti, M., Kalin, K. C., Patalen, L., Kržič, A., Lionello, P., Lima, M. M., Trigo, R. M., El-Kenawy, A. M., Eddenjal, A., Türkes, M., Koutroulis, A., Manara, V., Maugeri, M., Badi, W., Mathbout, S., Bertalanič, R., Bocheva, L., Dabanli, I., Dumitrescu, A., Dubuisson, B., Sahabi-Abed, S., Abdulla, F., Fayad, A., Hodzic, S., Ivanov, M., Radevski, I., Peña-Angulo, D., Lorenzo-Lacruz, J., Domínguez-Castro, F., Gimeno-Sotelo, L., García-Herrera, R., Franquesa, M., Halifa-Marín, A., Adell-Michavila, M., Noguera, I., Barriopedro, D., Garrido-Perez, J. M., Azorin-Molina, C., Andres-Martin, M., Gimeno, L., Nieto, R., Llasat, M. C., Markonis, Y., Selmi, R., Ben Rached, S., Radovanović, S., Soubeyroux, J.-M., Ribes, A., Saidi, M. E., Bataineh, S., El Khalki, E. M., Robaa, S., Boucetta, A., Alsafadi, K., Mamassis, N., Mohammed, S., Fernández-Duque, B., Cheval, S., Moutia, S., Stevkov, A., Stevkova, S., Luna, M. Y., & Potopová, V. (2025). High temporal variability not trend dominates Mediterranean precipitation. *Nature, 639*(8055), 658-666. https://doi.org/10.1038/s41586-024-08576-6
- Viedma , O., & Moreno Rodríguez, J. M. (2025). Impact of LiDAR pulse density on forest fuels metrics derived using LadderFuelsR.
- Viedma, O., Angeler, D. G., & Moreno, J. M. (2009). Landscape structural features control fire size in a Mediterranean forested area of central Spain. *International Journal of Wildland Fire, 18*(5), 575-583. https://doi.org/10.1071/WF08030

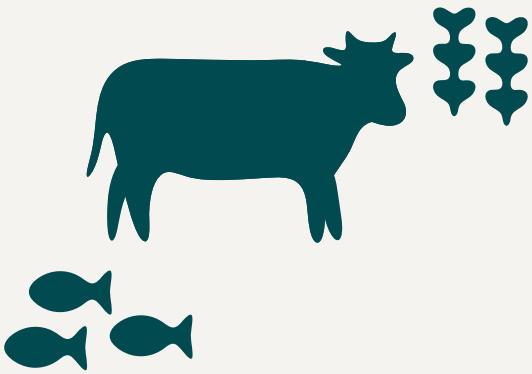
- Viedma, O., Chico, F., Fernández, J. J., Madrigal, C., Safford, H. D., & Moreno, J. M. (2020). Disentangling the role of prefire vegetation vs. burning conditions on fire severity in a large forest fire in SE Spain. *Remote Sensing of Environment, 247*, 111891. https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111891
- Viedma, O., Quesada, J., Torres, I., De Santis, A., & Moreno, J. M. (2015). Fire Severity in a Large Fire in a Pinus pinaster Forest is Highly Predictable from Burning Conditions, Stand Structure, and Topography. *Ecosystems, 18*(2), 237-250. https://doi.org/10.1007/s10021-014-9824-y
- Viedma, O., Urbieta, I. R., & Moreno, J. M. (2018). Wildfires and the role of their drivers are changing over time in a large rural area of west-central Spain. *Scientific Reports, 8*(1), 17797. https://doi.org/10.1038/s41598-018-36134-4
- Vilà, M., Vayreda, J., Comas, L., Ibáñez, J. J., Mata, T., & Obón, B. (2007). Species richness and wood production: a positive association in Mediterranean forests. *Ecology Letters, 10*(3), 241-250. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01016.x
- Walter, H., & Breckle, S. W. (2013). *Ecological Systems of the Geobiosphere: Ecological principles in global perspective* (Vol. 3). Springer Science & Business Media.
- Wang, S., Zhang, Y., Ju, W., Chen, J. M., Ciais, P., Cescatti, A., Sardans, J., Janssens, I.A., Wu, M., Berry, J.A., Campbell, E., Fernández-Martínez, M., Alkama, R., Sitch, S., Friedlingstein, P., Smith, W.K., Yuan, W., He, W., Lombardozzi, D., Kautz, M., Zhu, D., Lienert, S., Kato, E., Poulter, B., Sanders, T.G.M., Krüger, I., Wang, R., Zeng, N., Tian, H., Vuichard, N., Jain, A.K., Wiltshire, A., Haverd, V., Goll, D.S. & Peñuelas, J. (2020). Recent global decline of CO2 fertilization effects on vegetation photosynthesis. Science, 370(6522), 1295-1300. https://doi.org/10.1126/science.abb7772
- Xiong, M., Sun, R., & Chen, L. (2019). A global comparison of soil erosion associated with land use and climate type. *Geoderma, 343*, 31-39. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.013
- Yigini, Y., & Panagos, P. (2016). Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe. *Science of The Total Environment, 557*, 838-850.
- Zabaleta, A., Meaurio, M., Ruiz, E., & Antigüedad, I. (2014). Simulation Climate Change Impact on Runoff and Sediment Yield in a Small Watershed in the Basque Country, Northern Spain. *Journal of Environmental Quality, 43*(1), 235-245. https://doi.org/10.2134/jeq2012.0209
- Zambon, I., Cerdà, A., Cudlin, P., Serra, P., Pili, S., & Salvati, L. (2019). Road Network and the Spatial Distribution of Wildfires in the Valencian Community (1993–2015). *Agriculture, 9*(5), 100. https://www.mdpi.com/2077-0472/9/5/100
- Zhang, M., Liu, N., Harper, R., Li, Q., Liu, K., Wei, X., Ning, D., Hou, Y., & Liu, S. (2017). A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime. *Journal of Hydrology, 546*, 44-59. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.040
- Zheng, C., Li, Y., Wang, X., Wang, L., Duan, Y., Chen, Y., & Lu, J. (2024). Desertification indirectly affects soil fauna by reducing complexity of soil habitats and diversity of energy sources. *Science of The Total Environment, 954*, 176509.
- Zuazo, V. c. H. D., & Pleguezuelo, C. R. o. R. (2009). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *Sustainable agriculture*, 785-811.

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y alimentación



GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autoras: Inmaculada Batalla (BC3) y María José Sanz (BC3)

Contribuyentes: Elena Galán del Castillo (BC3)

Agradecimientos: Marta Albo (IEO-CSIC), Lucía López (IEO-CSIC)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Batalla, I. y Sanz, M.J. (2025) Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 640

2. Introducción / pág. 642

3. Riesgos relevantes / pág. 645

2025 / pág. 647

4. Riesgos clave / pág. 660

   4.1. Riesgo clave 5.1. Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua. / pág. 661

   4.2. Riesgo clave 5.2. Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos / pág. 669

   4.3. Riesgo clave 5.3. Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal y aumento de mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y por descenso de precipitaciones. / pág. 675

   4.4. Riesgo clave 5.4. Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas. / pág. 682

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 690

6. Caso de estudio / pág. 694

2025 / pág. 695

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 696

8. Referencias / pág. 698

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Agricultura, Ganadería, Pesca, Acuicultura y Alimentación** de la **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)**.

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos en cascada y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos**. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio representativo** que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

La agricultura, la ganadería, la pesca y acuicultura, y la alimentación conforman un sector esencial que enfrenta uno de sus mayores desafíos: el cambio climático. Su dependencia directa de factores climáticos, así como de recursos esenciales como el suelo y el agua, hace a estas actividades especialmente vulnerables a las transformaciones que imponen las nuevas condiciones agroclimáticas. Este riesgo es particularmente elevado en los países mediterráneos, específicamente en España, donde las consecuencias del cambio climático ya están afectando a la producción agroalimentaria (EEA, 2024). Entre los principales peligros se encuentran el aumento de temperaturas, el incremento de periodos de sequía y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, factores que, sumados al riesgo de desertificación que afecta a gran parte del territorio español, agravan la situación y exigen medidas de adaptación urgentes.

El cambio climático compromete de forma creciente los servicios ecosistémicos esenciales para el sector agrario, como la fertilidad del suelo, la polinización, la regulación hídrica y el control biológico de plagas. Estos servicios dependen directamente de la biodiversidad funcional presente en los agroecosistemas, cuya alteración reduce la capacidad de los sistemas agrícolas para adaptarse y responder a perturbaciones climáticas. La pérdida de biodiversidad y de servicios ecosistémicos, tratada en detalle en el capítulo de Patrimonio Natural, no solo implica una disminución de especies, sino también una merma en la resiliencia ecológica y en la multifuncionalidad de los ecosistemas agrarios. El informe de evaluación global de IPBES (2019) subraya que la degradación de los servicios ecosistémicos vinculados a la biodiversidad representa una amenaza directa para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos, especialmente en regiones mediterráneas vulnerables como España.

Una particularidad de los diversos subsectores agrarios en el contexto de cambio climático radica en que, además de ser afectados por las nuevas condiciones climáticas, también contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero. En particular, el sector agropecuario representa un 12,3 % de las emisiones del Inventario Nacional de Emisiones (MITECO, 2025). Los principales gases emitidos son el metano y el óxido nitroso, derivados de la ganadería y la gestión de suelos agrarios respectivamente. No obstante, este sector presenta también un importante potencial de mitigación mediante el incremento de carbono en los suelos, a través de diferentes prácticas de gestión sostenible y técnicas agronómicas como el manejo adecuado de pastos y pastizales o la incorporación de coberturas vegetales en cultivos leñosos, entre otras.

Para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo, es imprescindible la implementación de estrategias integrales que combinen medidas de adaptación y mitigación. Estas estrategias deben estar orientadas a aumentar la resiliencia del sector frente a los efectos del cambio climático considerando las particu-

laridades de cada territorio. En España, las marcadas diferencias regionales y la alta especialización en la producción de alimentos en algunas zonas, impulsada en gran medida por la diversidad de condiciones agroclimáticas, hacen que ninguna zona sea completamente inmune a los efectos del cambio climático. La magnitud del impacto varía según las condiciones climáticas de la región y las tipologías de cultivos (por ejemplo, regadío vs secano; cultivos anuales vs cultivos plurianuales...). Mientras que algunas zonas pueden enfrentar mayores riesgos de sequías prolongadas, otras podrían sufrir un incremento en fenómenos meteorológicos extremos o la salinización de los suelos. Por ello, es esencial adoptar enfoques adaptados a las particularidades de cada territorio para garantizar la sostenibilidad de la producción alimentaria en todo el país.

El sector de la agricultura, ganadería, pesca y acuicultura representa un 2,3 % del PIB español, aunque su peso económico varía por regiones, con una mayor dependencia en zonas como Extremadura (MAPA, 2022). Las tierras de cultivo ocupan un 33 % de la superficie mientras que los prados y pastizales representan un 19 %, sumando un 52 % del territorio total de la geografía española (MAPA, ESYRCE, 2023).

La distribución de cultivos muestra una preponderancia de cereales de grano (34 %), olivar (17 %), frutales (10 %), cultivos forrajeros y viñedo (6 % cada uno) (MAPA, ESYRCE, 2023). Destaca el crecimiento del cultivo hortícola en invernadero, concentrado en Andalucía, el sureste peninsular y Canarias, con un aumento del 42,1 % entre los censos agrarios de 2009 y 2020 (INE, 2022).

La agricultura española se basa principalmente en una combinación de cultivos de regadío y secano, con un 22 % de la superficie cultivada bajo riego. La expansión del regadío varía según regiones y/o cultivos. En los cultivos cítricos alcanza el 92 % del total, mientras que en cultivos de cereal o leguminosas apenas supera el 13 y 7 % respectivamente de la superficie sembrada (MAPA, ESYRCE, 2023).

El 80,19 % del agua disponible en España se destina al uso agrario (agricultura y ganadería) (MITECO, 2023). En algunas zonas donde el régimen de precipitaciones es limitado, especialmente en las zonas más áridas del sur y este del país, los cultivos de regadío ocupan más del 30 % de la superficie cultivada.

Los sistemas de riego han experimentado importantes transformaciones en los últimos años, destacando un gran crecimiento de los sistemas de riego localizado, que suponen el 58 % del total de la superficie regada (MAPA, ESYRCE, 2023), en detrimento del tradicional riego por gravedad, que cubre un 20 % de la superficie con una tendencia a la baja y un 23 % restante de riego por aspersión.

La ganadería en España comprende diferentes sistemas ganaderos, con diferente distribución geográfica y especialización. En 2020, el país contaba con 169.576 explotaciones ganaderas, lo que supone una disminución del 30 % respecto a 2009 (INE, Censo Agrario, 2020). Si atendemos al número de cabezas de ganado, es importante diferenciar entre aves de corral (211 millones de cabezas), presentes

en toda la geografía, pero especialmente en Cataluña, Castilla-La Mancha, Galicia, Aragón y Castilla León; ganado porcino (30 millones de cabezas), ubicado principalmente en zonas de Cataluña, Aragón y Castilla y León; ovino, de producción tanto de carne como de leche, (16 millones de cabezas), localizado principalmente en Extremadura, Castilla-León, Castilla-La Mancha y Andalucía; bovino, de leche y de carne, (6 millones de cabezas), en Castilla y León, Galicia y Extremadura; caprino (2,6 millones de cabezas), mayoritariamente en Andalucía; y, finalmente, cunícola (0,7 millones de cabezas). En los últimos años, se ha registrado un crecimiento del 21,8 % en la cabaña porcina y del 15,7 % en la bovina (INE, Censo Agrario, 2020).

Los sistemas ganaderos varían según el territorio, la aptitud productiva (carne, leche o sistemas mixtos), los sistemas de alimentación empleados y el tipo de instalaciones ganaderas (si los animales están estabulados o no). Estas características determinan los diferentes impactos climáticos a los que deben hacer frente estos sistemas. Por ejemplo, resulta crucial considerar los efectos del cambio climático sobre la producción de pastos y forrajes, base de la alimentación de la cabaña ganadera extensiva de rumiantes (bovino, ovino y caprino), así como la capacidad de adaptación de estos sistemas frente a otros modelos ganaderos. Para el caso de animales estabulados, es importante destacar la importancia que tienen la calidad y adecuación de las instalaciones ganaderas para garantizar condiciones de bienestar de los animales, que determinan además su productividad.

En el ámbito pesquero, la flota de pesca española contaba en 2022 con 8.657 buques, siendo la tercera más numerosa del conjunto de la UE. Ese año, la captura total fue de 808.792 toneladas y el sector empleaba a 30.494 personas. Las técnicas de pesca predominantes incluyen la polivalente artesanal (47,79 %), la flota de rastros (18,23 %), el arrastre (12 %), el anzuelo (8 %), el cerco (6 %) y el enmalle (5 %) (MAPA, 2024). Por su parte, la acuicultura española se centra en especies como el mejillón, la lubina, la trucha arcoíris y la dorada, una producción de 327.309 toneladas en 2021 (APROMAR, 2022) y empleando a 10.250 personas (MAPA, 2023b).

El sector agroalimentario abarca toda la cadena de valor de los alimentos, desde la producción hasta la distribución y el comercio minorista, incluyendo la agroindustria, la logística y el sector HORECA (hostelería, restauración y catering). En los últimos años, el valor total del sector agroalimentario ha ido en aumento, con una aportación al PIB total nacional del 8,9 % (Eurostat, 2023); siendo del 5 % si se excluye la comercialización (Maudos y Salamanca, 2023).

En este capítulo se tienen en cuenta los diferentes eslabones que integran la cadena del sistema agroalimentario, considerando que el impacto del cambio climático sobre el sector primario generará efectos en cadena en el resto de los sectores. Además, cada uno de estos sectores enfrentará desafíos específicos, los cuales se abordan con mayor detalle en los diferentes capítulos dedicados a la industria, la energía, el turismo, las finanzas, la salud y la cohesión social, entre otros.

3. Riesgos relevantes

Los riesgos relevantes del sector primario son aquellos que tienen un alto potencial de generar consecuencias adversas en la producción de alimentos, afectando a la operatividad, productividad, rentabilidad y sostenibilidad de este. Estos riesgos surgen de la interacción entre las amenazas climáticas, la exposición y vulnerabilidad que caracteriza el sector, y pueden cambiar con el tiempo y el espacio debido a cambios socioeconómicos y a decisiones humanas (Reisinger *et al.*, 2020).

El sector alimentario, que engloba la producción agropecuaria y la piscícola, y el resto de la cadena de valor en su conjunto, enfrenta una amplia gama de riesgos derivados del cambio climático.

Entre los principales **peligros** se incluyen el aumento de temperaturas, los fenómenos meteorológicos extremos (como olas de calor, lluvias intensas e inundaciones), así como los periodos de sequía y la creciente aridez. Todas ellas impactan directamente sobre la producción agrícola y ganadera. En el caso de la pesca y la acuicultura (tanto marina como continental), los peligros más relevantes incluyen el incremento de temperatura del agua, las olas de calor (marinas y en cuerpos de agua dulce), la acidificación del océano, la variabilidad en la disponibilidad de agua dulce, y, en zonas costeras, la elevación del nivel del mar.

En términos de **elementos expuestos**, destacan las zonas rurales, donde se concentra la mayor parte de la producción agropecuaria y donde residen las personas que se dedican a esta actividad. Dentro de estas, todos los sistemas agrarios, tierras de cultivo, áreas de pasto y pastizales de montaña, están expuestos a riesgos climáticos en mayor o menor medida. Asimismo, se incluyen las instalaciones agroganaderas, diferenciando entre las propiamente agrícolas y las ganaderas. Para el sector pesquero, los elementos de exposición comprenden las áreas de acuicultura y las zonas pesqueras marinas. Por su parte, en el sector alimentario se consideran también los elementos que conforman la logística de distribución de alimentos.

La **vulnerabilidad** ha de analizarse desde un enfoque multidimensional (Eklund *et al.*, 2023) que permita contextualizar adecuadamente los riegos, considerando aspectos económicos, sociales, de gobernanza, físico-tecnológicos y ambientales. Desde la perspectiva de la **vulnerabilidad económica**, los problemas estructurales del sector agropecuario y pesquero condicionan su rentabilidad y dificultan la renovación y mantenimiento de las instalaciones, situándolo en desventaja frente a otros sectores. La alta proporción de pequeñas explotaciones y agricultores/as familiares constituye también un factor clave de vulnerabilidad al depender de su capacidad de organización colectiva que les permitan compartir recursos y afrontar de manera conjunta los distintos riesgos. En el plano

social, el sector enfrenta una crisis de escasez de mano de obra a corto y medio plazo, vinculada al envejecimiento de la población activa y a la falta de relevo generacional ligada, entre otros aspectos, a una carencia de servicios en el medio rural y un bajo reconocimiento social del sector. El despoblamiento rural y el crecimiento urbano intensifican esta situación, agravando no solo la falta de trabajadores, sino también los problemas de acceso equitativo a los alimentos, especialmente en colectivos vulnerables. En el ámbito **de gobernanza**, es esencial valorar la capacidad institucional para implementar estrategias de adaptación al riesgo climático. Aspectos claves desde la perspectiva política incluyen el marco regulatorio agropecuario, la planificación territorial sostenible, la gestión eficiente de recursos naturales como el agua y el suelo, así como los sistemas de aprovisionamiento alimentario, los sistemas de alerta temprana para la gestión del riesgo, los seguros agrarios y la percepción del sector sobre la eficacia de estas y otras posibles herramientas ante los riesgos. La dimensión **físico-tecnológica** engloba el estado de las infraestructuras agrarias, su grado de mantenimiento, así como su capacidad de renovación. Del mismo modo la falta de recursos para la capacitación y formación para adaptar cambios de manejo, incorporar innovaciones, así como aplicar ciertas prácticas en el contexto de cambio climático, requiere programas continuos de transferencia de conocimiento, asistencia técnica y acompañamiento en la implementación de mejoras que ahora mismo no siempre están disponibles. Por último, desde la perspectiva **ambiental** la vulnerabilidad se relaciona con la sensibilidad y resiliencia de las especies y los ecosistemas agrarios, los patrones de uso del suelo, la disponibilidad y calidad de los recursos naturales, así como la presión antrópica ejercida sobre los agroecosistemas (Borelli *et al.*, 2025). Asimismo, es fundamental evaluar el impacto de las prácticas agrarias en la conservación de la biodiversidad y en la capacidad de los sistemas productivos para mantener su equilibrio ecológico.

A estos elementos se suman diversos **factores de riesgo subyacentes** que aumentan la exposición y vulnerabilidad del sector frente a estos peligros. Desde el lado de la demanda, en el contexto de un sistema agroalimentario globalizado, los cambios en los hábitos de consumo representan un factor relevante y, en este sentido, cabe destacar la creciente demanda de cultivos tropicales con elevados requerimientos hídricos en zonas con problemas de escasez de agua. Por otra parte, la progresiva intensificación del sector, la dependencia de insumos externos y la extensión de modelos poco sostenibles acentúan los riesgos derivados del cambio climático. En este contexto la propia dinámica de la producción agraria intensiva (frecuentemente orientada a maximizar rendimientos a corto plazo) actúa como factor de riesgo subyacente. Esta forma de gestión suele ignorar los límites ecológicos de los sistemas agrícolas. Al sobrepasar estos límites, se debilita la resiliencia del sistema agrario lo que incrementa el riesgo de colapsos productivos y de degradación irreversible de los recursos naturales incluyendo el declive de polinizadoras y la degradación ambiental. Asimismo, los cambios de uso de la tierra, motivados por el incremento de demanda de otros usos, como la energía, o la competencia por cultivos destinados a biocombustibles o alimentación animal, también contribuyen a esta situación.

En conjunto, estos factores generan una serie de impactos que suponen riesgos para la agricultura, la ganadería, la pesca y la acuicultura y el sistema alimentario en general, con efectos colaterales en sectores como la industria, los servicios, la salud, los recursos hídricos o las finanzas; relacionados con la seguridad alimentaria, la seguridad hídrica y la economía rural.

La **Figura 1** representa de forma esquemática todas las componentes previamente descritas: las amenazas climáticas, los elementos más expuestos del sector a dichas amenazas, las diferentes vulnerabilidades y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la *Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación* en el contexto de cambio climático, desarrollada recientemente por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los riesgos relevantes que caracterizan el sector.

Agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y alimentación

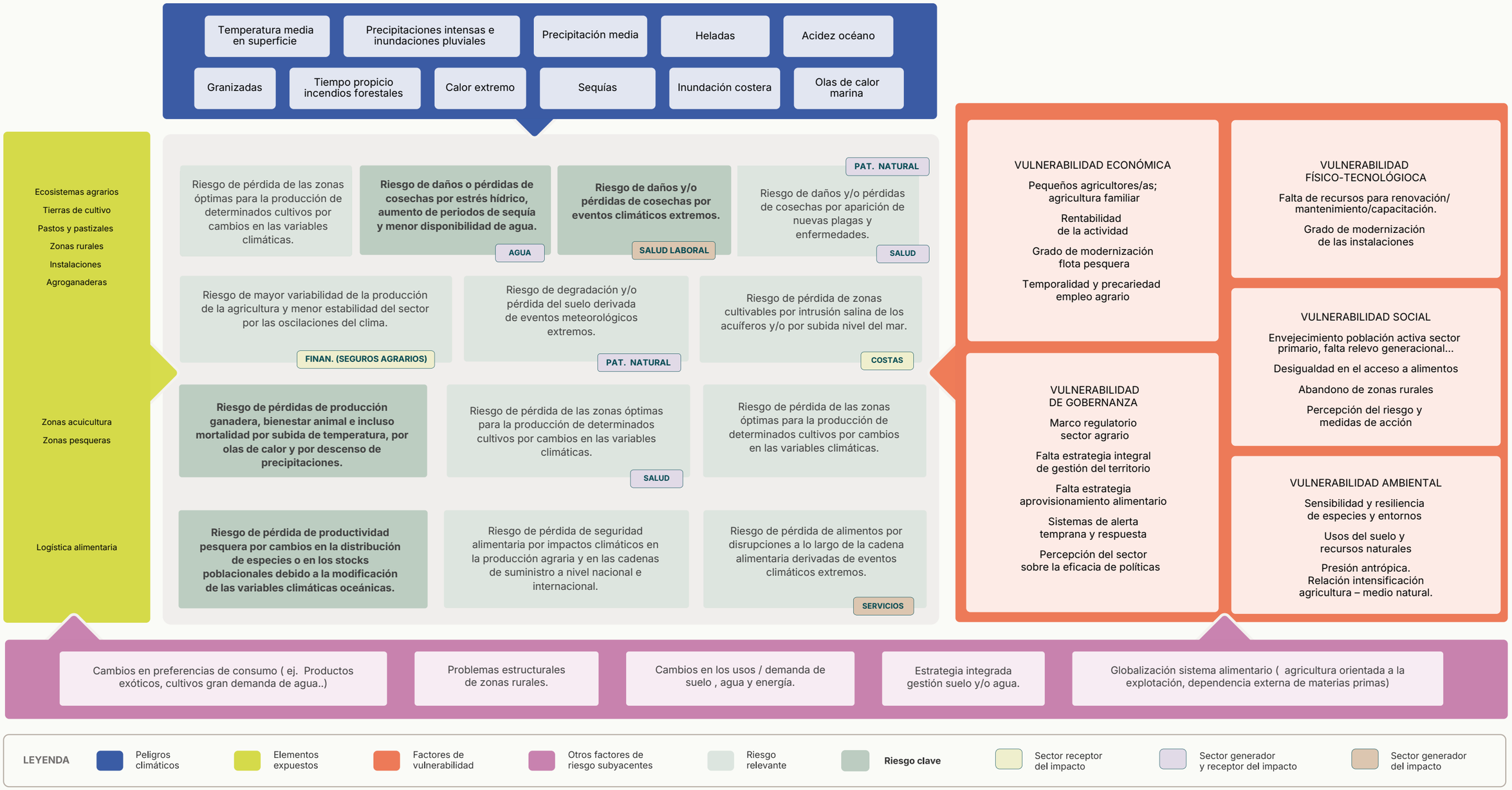


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector agrario, ganadero, pesquero y de alimentación.

Los riesgos relevantes identificados para el sector, recogidos en la Tabla 1, se describen a continuación relacionados con cada uno de los subsistemas analizados:

Riesgos relevantes relativos a la producción agrícola

Riesgo de pérdida de las zonas óptimas para la producción de determinados cultivos por cambios en las variables climáticas.

El aumento de la temperatura media puede provocar un desplazamiento de las zonas óptimas de producción agrícola. Este peligro está asociado al alargamiento de las estaciones cálidas estivales, con primaveras más tempranas y otoños más tardíos, lo que adelanta las cosechas y altera, en general, los calendarios agrícolas (Resco, 2022). Esta condición no solo impacta sobre la productividad y el rendimiento de los cultivos, sino que también puede tener un impacto negativo sobre la calidad de estos. El aumento de la temperatura media produce un aumento del riesgo del cultivo a sufrir estrés térmico, considerado como el aumento de la temperatura del aire por encima de un nivel umbral durante un período de tiempo suficiente para causar daños irremediables en el cultivo o pérdidas de rendimiento y calidad (Lucia Martin *et al.*, 2025). Un ejemplo de ello se observa en el sector vitivinícola, donde se ha registrado una maduración más temprana de la uva, afectando la calidad de las cosechas (Resco *et al.*, 2016).

A largo plazo, esta tendencia de aumento de la temperatura media, combinada con los cambios en los patrones de precipitación, puede modificar la distribución geográfica de los cultivos actuales. Algunas áreas, hoy óptimas para ciertos cultivos, podrían dejar de serlo, mientras que otras, antes inadecuadas, podrían volverse aptas, como puede ocurrir, por ejemplo, para el caso del cultivo del olivar (Arenas-Castro *et al.,* 2020; Gratsea *et al.,* 2022; Lalanda *et al.,* 2025; Moriondo *et al.,* 2013; Rodríguez-Soussa *et al.,* 2020). Se prevé así un desplazamiento de ciertas zonas de cultivo actuales hacia latitudes más al norte (EEA, 2024). Por otro lado, el aumento de las temperaturas podría favorecer la introducción de cultivos típicos de zonas más cálidas, especialmente en el Mediterráneo (Sanz y Galán, 2020).

El aumento de las temperaturas provoca adelanto y acortamiento de los ciclos vegetativos dando lugar a lo que se conoce como desajuste fenológico, una alteración en el ciclo de vida de los cultivos. Esto afectará en general a todas las zonas agrícolas, especialmente a aquellas que acogen cultivos leñosos, que dependen de un número suficiente de horas de frío para alcanzar etapas fenológicas clave, como la floración y su duración (Gálvez-Montañez *et al.,* 2024; Lorite *et al.,* 2020). Los inviernos más suaves podrían obligar a sustituir variedades actuales por otras más adecuadas a las nuevas condiciones climáticas (Rodríguez *et al.,* 2021; Egea *et al.,* 2022).

Estos cambios pueden generar impactos sociales y económicos significativos, ya que productores/as y regiones enteras podrían enfrentarse a la necesidad de adaptarse a nuevas condiciones o incluso modificar su actividad económica principal.

Riesgo de daños o pérdida de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.

El agua es un recurso esencial en la producción agraria, y su disponibilidad es clave para la sostenibilidad del sector. Por ello, el cambio en los patrones de precipitaciones, el aumento de periodos de sequías y la disminución de los recursos hídricos amenazan la producción agrícola, especialmente en el sur de Europa (Rodrigo-Comino *et al.*, 2021), una de las regiones más vulnerables al cambio climático (EEA, 2024). De hecho, diversos estudios (Barranco *et al.*, 2018; Feyen *et al.*, 2020; Jenkins, 2013) ya señalan una reducción significativa de los recursos hídricos en esta zona.

En España, la disponibilidad de agua ha disminuido, con sequías más frecuentes y prolongadas que representan un desafío creciente para el sector agrario (Barranco *et al.*, 2018). En 2024, las sequías fueron responsables del 24,72 % de los siniestros registrados por Agroseguro (AGROSEGURO, 2024), lo que evidencia la magnitud del problema. El impacto de estas sequías es más severo en los cultivos de secano (Peña-Gallaro *et al.*, 2019), que ocupan el 78 % del territorio agrario español (MAPA, ESYRCE, 2023) y dependen exclusivamente de la precipitación.

Ante este escenario, es fundamental implementar estrategias de adaptación que favorezcan la retención de humedad en el suelo (Madejón *et al.*, 2023). Asimismo, el uso de variedades más resistentes, la optimización de los sistemas de riego y una planificación eficiente del regadío en sistemas irrigados son claves para hacer frente a este riesgo (Alcón *et al.*, 2022). Otras medidas incluyen la selección de cultivos según sus necesidades hídricas, así como la aplicación de técnicas como el riego deficitario (Moldero *et al.*, 2021; García-Tejero *et al.*, 2024). En este contexto, resulta fundamental priorizar prácticas que no comprometan la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo.

Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.

La intensificación de eventos climáticos extremos representa una amenaza recurrente y creciente para la producción agraria en todo el territorio español (Barranco *et al.*, 2018). Fenómenos como inundaciones, crecidas repentinas (MITECO, 2018), sequías prolongadas (Barranco *et al.*, 2018), olas de calor (AEMET), pedriscos (Mohr *et al.*, 2015), tormentas, lluvias torrenciales (Fundación AON,2024) e incendios forestales están aumentando en frecuencia e intensidad (EEA, 2024).

El grado de impacto de estos peligros depende tanto de su intensidad como de la vulnerabilidad de las zonas afectadas. Los eventos climáticos extremos pueden causar daños físicos significativos en los cultivos, como la rotura de ramas, el desgarramiento de hojas, el vuelco de plantas o la abrasión de tejidos vegetales debido al impacto de partículas arrastradas por el viento. Estas condiciones también pueden interferir con labores clave de manejo agrícola, dificultando o incluso imposibilitando actividades como la aplicación de tratamientos o la recolección de la cosecha. En algunos casos, los daños se limitan a los cultivos, provocando pérdidas económicas directas. No obstante, en situaciones más severas, pueden resultar afectadas infraestructuras esenciales como sistemas de riego, maquinaria e instalaciones, lo que agrava aún más la producción agrícola y dificulta la recuperación tras el desastre.

Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por aparición de nuevas plagas y enfermedades.

El cambio climático está modificando el comportamiento de plagas y enfermedades en los cultivos (Singh *et al.*, 2023). Se han observado alteraciones en los ciclos de vida de plagas existentes (Robinet & Roques, 2010) y la llegada de nuevas especies invasoras, como ha ocurrido con plagas provenientes del norte de África que han emigrado hacia Europa debido al aumento de las temperaturas (AEA, 2007; EFSA, 2020). Un caso destacado es la expansión de *Xylella fastidiosa* en España (EPPO, 2016), que afecta especialmente a cultivos leñosos como el almendro, viña, olivo y cítricos, ocasionando daños económicos graves.

Se estima que el riesgo de aparición y propagación de plagas aumentará significativamente entre 2050 y 2100 (Grünig *et al.*, 2020). Este problema es especialmente preocupante en las zonas de clima mediterráneo, donde las temperaturas más altas favorecen la proliferación y adaptación de plagas al influir en su biología y dinámica poblacional. Además, estas condiciones favorecen el establecimiento de especies invasoras (Deutsch *et al.*, 2018). El aumento de eventos climáticos extremos podría agravar esta situación, incrementando la susceptibilidad de los cultivos a enfermedades (Devot *et al.*, 2023).

Riesgo de mayor variabilidad de la producción de la agricultura y menor estabilidad del sector por las oscilaciones del clima.

Las oscilaciones climáticas, cada vez más extremas y frecuentes, están afectando la estabilidad del sector agrícola. Estas variaciones no sólo impactan sobre la cantidad de la producción, sino también su calidad, como la calidad del grano o el valor nutricional de los cultivos (Resco, 2022).

Estudios previos han observado variaciones interanuales significativas en la producción agrícola debido a condiciones climáticas (Vicente-Serrano, 2006). Las oscilaciones del clima y de fenó-

menos específicos, como las heladas, afectan especialmente a etapas clave del desarrollo de las plantas, como la floración, lo que incrementa el riesgo de fluctuaciones tanto en la cantidad como en la calidad de la producción. El aumento de la variabilidad también implica la reducción de la estabilidad económica del sector y podría llegar a suponer un riesgo para el abastecimiento alimentario (Rodríguez Sousa *et al.*, 2020).

Riesgo de degradación y/o pérdida del suelo derivada de eventos meteorológicos extremos.

En España, aproximadamente 250.000 ha presentan niveles de erosión superiores a 200 toneladas por hectárea y año (Inventario Nacional de Erosión de Suelos; Sanjuan *et al.*, (2014)). Además, más de dos tercios del territorio se encuentran clasificados como zonas áridas, semiáridas o subhúmedas secas (Douville *et al.*, 2021; Rodríguez-Berbel *et al.*, 2022), lo que las hace especialmente susceptibles a la desertificación (MAPA, 2016; MITECO, 2022).

Las sequías prolongadas y lluvias intensas incrementan la vulnerabilidad del suelo, favoreciendo procesos de erosión, compactación y pérdida de nutrientes, efectos que se agravan especialmente en terrenos de cultivo abandonados (Quintana *et al.*, 2020; Quintana *et al.,* 2023). Asimismo, este riesgo también se manifiesta en otros sectores, como el forestal, donde la erosión y la disminución de la calidad del suelo se ven acentuadas por los cambios de temperatura y los eventos de precipitación extrema.

Existen medidas de adaptación que, bien implementadas, pueden mitigar este riesgo. Entre ellas se encuentran el uso de cubiertas vegetales, evitar la exposición de suelos desnudos, la implementación de cultivos de cobertera, técnicas como el mulching y la aplicación de enmiendas orgánicas (Hueso *et al.*, 2024) que pueden ser especialmente eficaces en zonas muy degradadas. Conviene señalar que muchas de estas prácticas buscar contrarrestar un riesgo subyacente y creciente de degradación del suelo asociada a determinadas prácticas agrícolas inadecuadas, como el laboreo intensivo, el monocultivo o el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas (FAO,2022).

Riesgo de pérdida de zonas cultivables por intrusión salina de los acuíferos y/o por subida nivel del mar.

La intrusión salina y la subida del nivel del mar representan una amenaza creciente en áreas costeras como el Delta del Ebro, la Albufera de Valencia, la costa andaluza y las zonas insulares. La sobreexplotación de los acuíferos, junto al ascenso del nivel del mar, está provocando la salinización de los suelos, la degradación de los recursos hídricos (Custodio *et al.,* 2020; Rodríguez –Berbel *et al.*, 2022) y, con ello, la reducción del área cultivable en estas zonas, con impactos significativos en cultivos como el arroz (Resco, 2022). Estos procesos se intensifican con el aumento de

temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación. Como medidas de adaptación ante este riesgo, se pueden mencionar la protección de acuíferos sobreexplotados, el uso de barreras hidráulicas, la implementación de sistemas de riego más eficientes, así como el desarrollo de variedades de cultivo más tolerantes a la salinidad, especialmente relevantes en zonas donde la agricultura intensiva depende de aguas subterráneas (Singh, 2021).

Riesgos relevantes relativos a la producción ganadera

El cambio climático supone un riesgo considerable para todos los sistemas de producción ganadera. No obstante, es importante considerar las diferencias entre distintos tipos de animales (especialmente rumiantes y monogástricos), ya que las tipologías de las instalaciones ganaderas y el grado de estabulación varían considerablemente. Del mismo modo, es importante distinguir entre sistemas productivos con base territorial y aquellos sin ella, así como considerar las diferentes fuentes de alimentación del ganado (ya sea basadas en pastoreo, forrajes propios o alimentación externa), puesto que el impacto potencial puede diferir de forma significativa. En consecuencia, las estrategias de adaptación deben diseñarse de manera específica para cada tipo de producción.

Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y por descenso de precipitaciones.

El incremento de las temperaturas genera episodios de estrés térmico en los animales, afectando negativamente su bienestar y productividad. Diversos estudios han documentado cómo el calor impacta distintos sistemas de producción: en animales estabulados, especialmente en la producción de leche (Galán *et al.*, 2018) (Del Prado *et al.*, 2020); en el sector porcino con efectos en la productividad (Renaudeau *et al.*, 2011); en aves de puesta donde el estrés térmico ha demostrado reducir su rendimiento (Gil *et al.*, 2023). En sistemas ganaderos extensivos, donde los animales pasan la mayor parte del tiempo en el exterior también se ha observado una disminución de la producción. Estos sistemas extensivos, particularmente aquellos que dependen de pastoreo, son más vulnerables a los efectos del estrés térmico debido a la exposición continua a condiciones climáticas extremas (Blanca Penedo *et al.*, 2020; Herrera, Pedro M. (ed.), 2020; Rubio y Roig, 2017), sin embargo, son sistemas con mecanismos de adaptación que pueden mitigar los efectos.

La pérdida continua de productividad, asociada a un aumento del índice de estrés por calor, puede provocar reducción de la fertilidad, menor producción de leche y descenso en la ganancia de peso en animales de engorde (Galán *et al.*, 2018; Ramón-Moragues *et al.*, 2021; Thomasz *et al.,* 2020). Además, el bienestar animal se ve comprometido con alteraciones fisiológicas, comportamientos

anormales y, en casos extremos, un aumento de la mortalidad (Blanca Penedo *et al.*, 2020; Galán *et al.*, 2018; Parés *et al.*, 2023).

Riesgo para la ganadería debido al aumento de plagas, patógenos y cambios en la distribución de vectores, incluidos los de zoonosis, por la subida de temperaturas.

Las condiciones climáticas cambiantes están alterando los ciclos biológicos de las plagas, patógenos y vectores de enfermedades, extendiendo su presencia geográfica y aumentando su persistencia estacional, afectando directamente a la salud del ganado. Se ha observado que estos cambios aceleran los ciclos de vida de los patógenos zoonóticos, que experimentan adaptaciones evolutivas muy rápidas, facilitando su propagación (Blanco-Penedo *et al.,* 2020).

El aumento de temperaturas también favorece la aparición de enfermedades infecciosas emergentes, con un impacto potencial considerable en la salud animal. Se estima que el cambio climático podría reducir la productividad del sector en un 25 % debido a enfermedades surgidas de las nuevas condiciones climáticas (Grace *et al.*, 2015). Un ejemplo es la expansión geográfica y la aparición de enfermedades producidas por mosquitos del género *Culicoides,* como es el caso de la propagación de la lengua azul en España, que ha alcanzado zonas más septentrionales en los últimos años, y la aparición en 2022 de los primeros casos de la enfermedad hemorrágica epizoótica (EHE) (MAPA, 2025).

La vulnerabilidad a estas enfermedades y su gestión varían en función del sistema productivo (rumiantes vs. monogástricos, estabulados vs. no estabulados) así como del clima de cada región (Cuéllar *et al.*, 2018; Galán y Sanz, 2020), con especial atención en sistemas extensivos donde el contacto con fauna silvestre puede facilitar el contagio cruzado, facilitando la transmisión cruzada de enfermedades como la tuberculosis, brucelosis o lengua azul (Rubio y Roig, 2017).

Riesgo para la producción ganadera debido a la disminución de la disponibilidad y calidad del forraje y pastos como consecuencia de las sequías y las altas temperaturas.

Las sequías y el aumento de temperaturas afectan la producción del forraje y los pastos, lo que supone un riesgo crítico para la alimentación del ganado. Estos cambios no solo reducen la cantidad de alimento disponible, sino que también impactan negativamente en su calidad nutricional (Del Prado *et al.*, 2020). Asimismo, se ha observado un incremento en la variabilidad interanual de los recursos forrajeros debido a condiciones climáticas extremas (Rubio y Roig, 2017).

La escasez de pastos y forraje propio incrementa la dependencia de fuentes externas de alimentación, lo que eleva los costos de producción. En sistemas extensivos, este riesgo es más relevante en aquellas explotaciones con mayor dependencia externa (Blanco -Penedo *et al.*, 2020).

La disponibilidad de concentrados también puede verse afectada, perjudicando especialmente a aquellas explotaciones ganaderas con gran dependencia de estos insumos y la vulnerabilidad ante disrupciones en cadenas de distribución (Tchonkouang *et al.*, 2024). El aumento en la demanda de alimentación comprada provocará una subida de precios, afectando de forma transversal a toda la producción ganadera.

Riesgos relevantes relativos a la producción pesquera

Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas.

El cambio climático está transformando los ecosistemas marinos, afectando tanto a la distribución de las especies pesqueras como a la disponibilidad de los stocks poblacionales (Chust *et al.*, 2025). Ya se observan desplazamientos de especies hacia mayores profundidades (Punzón *et al.*, 2021) y se prevé que estos cambios impacten sobre hábitats marinos clave, provocando el movimiento de especies objetivo de pesca debido a alteraciones en las condiciones oceánicas (EEA, 2024). Los efectos varían según la región marina peninsular (Atlántico, Mediterráneo e Islas Canarias), donde el aumento de la temperatura del agua ya está modificando los patrones migratorios, favoreciendo la proliferación de especies de aguas cálidas e impactando negativamente sobre la acuicultura, especialmente en especies cultivadas, como la lubina y la dorada (Rosa *et al.*, 2012). En la zona atlántica, las especies demersales han desplazado su distribución hacia aguas más profundas y hacia el oeste, mientras que en el Mediterráneo muchas especies se han movido hacia el sur, en contra de lo previsto (Punzón *et al.*, 2021; Sanz-Martín *et al.*, 2024).

El principal impacto de estos cambios es la disminución en las capturas, lo que representa un riesgo significativo para la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las comunidades costeras (Sanz y Galán, 2022 (eds)), problema que se ve agravado por factores estructurales del sector, como la sobreexplotación de los recursos pesqueros.

En el caso de la acuicultura, el aumento de la temperatura del mar supone un desafío adicional, ya que afecta al desarrollo de las especies cultivadas y aumenta la dependencia de fuentes externas de alimentación, encareciendo los costos de producción (EEA, 2024). En general, el aumento de la

temperatura del agua afecta al crecimiento, desarrollo y reproducción de especies cultivadas, así como a la proliferación de enfermedades y parásitos (*Perkinsus* en almejas y ostras), lo que genera una vigilancia sanitaria reforzada, a la selección de especies resistentes y a adoptar técnicas de acuicultura ajustadas a las condiciones cambiantes (García y Remiro, 2014).

Riesgos relevantes relativos a la alimentación

El sector agroalimentario abarca toda la cadena de valor de los alimentos, desde la producción hasta la distribución y el comercio minorista, incluyendo la agroindustria, la logística y el sector HORECA (hostelería, restauración y catering), así como la gestión del desperdicio alimentario en todas las etapas del proceso. El cambio climático tiene un gran impacto sobre los primeros eslabones de la cadena (la agricultura, la ganadería y la pesca), pero también es importante tener en cuenta los riesgos que surgen a partir de la fase de distribución y se extienden hasta el consumo final. Estos riesgos pueden afectar a la seguridad alimentaria tanto en términos de inocuidad como de disponibilidad de alimentos para la población (Fanzo & Rose, 2024).

Riesgo de pérdida de seguridad alimentaria por impactos climáticos en la producción agraria y en las cadenas de suministro a nivel nacional e internacional.

En un sistema alimentario globalizado, donde las cadenas de suministro están interconectadas a escala mundial, los eventos climáticos extremos que afectan a regiones productoras clave en terceros países pueden provocar disrupciones significativas en la distribución de alimentos (HLPE, 2024; Pieralli *et al.*, 2025). Estas perturbaciones no solo interrumpen el flujo regular de productos, sino que también generan aumento de precios y mayores costos de producción para diversos sectores económicos (EEA, 2024).

En el caso particular de la alimentación del ganado, las interrupciones en las cadenas de suministro de concentrados y otros insumos importados han derivado en un encarecimiento de la alimentación animal, lo que incrementa los costos operativos de las explotaciones ganaderas y compromete su rentabilidad y sostenibilidad (Bednar-Friedl *et al.*, 2022; Gregory et a., 2015).

La alteración en la disponibilidad de productos esenciales ya sea para el consumo humano directo como para uso en la producción agropecuaria, puede dar lugar a situaciones de escasez, elevando aún más los precios (Fanzo & Miachon, 2023) y al incremento de precio de la cesta de la compra. Estas fluctuaciones repercuten en toda la cadena agroalimentaria, afectando tanto a consumidores/as como a productores/as y generando tensiones económicas (Davis *et al.*, 2020).

Más allá del impacto económico, estas interrupciones en el suministro representan una amenaza directa para la seguridad alimentaria. Al dificultar el acceso a alimentos seguros, nutritivos y asequibles, se incrementa la vulnerabilidad de la población (Duffy, 2023), especialmente en contextos con alta dependencia de importaciones y limitadas alternativas locales (Brewer *et al.*, 2023). En este sentido, la capacidad de adaptación del sistema alimentario global frente a eventos extremos se convierte en un factor clave para garantizar un abastecimiento de alimentos sostenible, equitativo y resiliente.

Riesgo de pérdida de alimentos por disrupciones a lo largo de la cadena alimentaria derivadas de eventos climáticos extremos.

Los eventos climáticos extremos pueden afectar gravemente las distintas fases de la cadena alimentaria, desde el almacenamiento hasta la distribución, el procesamiento y el transporte de los alimentos (EEA, 2024). El aumento de temperaturas favorece la proliferación de plagas y la contaminación de los alimentos, lo que compromete su seguridad y disponibilidad en el mercado. El riesgo de proliferación de microorganismos que producen enfermedades transmitidas por los alimentos, como la *salmonella* y el *campylobacter,* puede ser mayor debido al incremento de temperaturas (Mirón *et al.*, 2023).

Además, estas disrupciones pueden incrementar significativamente el desperdicio de alimentos (Amicarelli & Bux, 2020), no sólo en la producción agrícola sino a lo largo de toda la cadena de suministro. Estas incidencias en el sistema alimentario agravan el riesgo de inseguridad alimentaria, ya que la necesidad de compensar la pérdida de alimentos puede requerir un aumento de la producción propia o una mayor dependencia de importaciones, con el consecuente impacto económico y ambiental (Miraglia *et al.*, 2009; Duchenne-Moutien & Neetoo, 2021).

Tabla 1. Listado de riesgos relevantes en el sector de agricultura, ganadería, pesca y alimentación.

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR5.1	Agricultura (cultivos general)	Riesgo de pérdida de las zonas óptimas para la producción de determinados cultivos por cambios en las variables climáticas	
RR5.2	Agricultura (cultivos general)	Riesgo de daños o pérdida de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.	RC5.1
RR5.3	Agricultura (cultivos general)	Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.	RC5.2
RR5.4	Agricultura (cultivos general)	Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por aparición de nuevas plagas y enfermedades.	
RR5.5	Agricultura (cultivos general)	Riesgo de mayor variabilidad de la producción de la agricultura y menor estabilidad del sector por las oscilaciones del clima.	
RR5.6	Agricultura (cultivos general)	Riesgo de degradación y/o pérdida del suelo derivada de eventos meteorológicos extremos.	
RR5.7	Agricultura (cultivos general)	Riesgo de pérdida de zonas cultivables por intrusión salina de los acuíferos y/o por subida nivel del mar.	
RR5.8	Ganadería (todas)	Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones.	RC5.3
RR5.9	Ganadería (todas)	Riesgo para la ganadería debido al aumento de plagas, patógenos y cambios en la distribución de vectores, incluidos los de zoonosis por la subida de temperaturas.	
RR5.10	Ganadería (todas)	Riesgo para la producción ganadera debido a la disminución de la disponibilidad y calidad del forraje y pastos como consecuencia de las sequías y las altas temperaturas.	

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR5.11	Pesca (todas)	Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas.	RC5.4
RR5.12	Alimentación (sistema alimentario)	Riesgo de pérdida de seguridad alimentaria por impactos climáticos en la producción agraria y cadenas de suministro a nivel nacional e internacional.	
RR5.13	Alimentación (sistema alimentario)	Riesgo de pérdida de alimentos por disrupciones a lo largo de la cadena alimentaria derivadas de eventos climáticos extremos.	

4. Riesgos clave

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector de agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y alimentación, los trece riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts and Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector de la agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el "Análisis Multicriterio" (AMC). Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos que son catalogados como "Riesgos Clave" y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR5.2 Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua. (RC5.1).
- RR5.3 Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos. (RC5.2).
- RR5.8 Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y por descenso de precipitaciones. (RC5.3).
- RR5.11 Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas (RC5.4).

Otros riesgos significativos, no considerados clave, pero para los que sí es necesario un seguimiento activo son:

- RR5.5 Riesgo de mayor variabilidad de la producción de la agricultura y menor estabilidad del sector por las oscilaciones del clima.

- RR5.6 Riesgo de degradación y/o pérdida del suelo derivada de eventos meteorológicos extremos.

- RR5.9 Riesgo para la ganadería debido al aumento de plagas, patógenos y cambios en la distribución de vectores, incluidos los de zoonosis, por la subida de temperaturas.

A continuación, se describen en profundidad cada uno de los riesgos clave priorizados.

4.1. Riesgo clave 5.1. Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.

El agua es un recurso fundamental para la producción agrícola y desempeña un papel esencial en la sostenibilidad y viabilidad del sector. Sin embargo, la reducción de su disponibilidad debido al cambio climático ha motivado su consideración como riesgo clave para la agricultura en España (EEA, 2024; Resco, 2022; Sanz & Galán, 2020).

La disminución del agua disponible para la agricultura está determinada por diversos **peligros** climáticos, entre los que destacan la reducción de la precipitación acumulada media anual, el cambio en los patrones de distribución de la precipitación, el aumento de la temperatura media y la evapotranspiración, y la intensificación y mayor frecuencia de los periodos de sequía tanto hidrológica como hidrogeológica. Además, otros fenómenos extremos, como olas de calor o inundaciones, pueden afectar la disponibilidad hídrica y provocar pérdidas en los cultivos debido al estrés hídrico (CEDEX, 2017). En España, se ha constatado una tendencia a la reducción generalizada del agua disponible, acompañada de sequías más frecuentes y prolongadas, lo que supone un factor limitante para la producción agraria (Barranco *et al.*, 2018; CEDEX, 2017; EEA, 2024; Feyen, 2020; Jenkins, 2013). Por otra parte, el Atlas Europeo de Sequías (Rossi *et al.*, 2023) prevé una disminución del indicador SPEI (que mide de forma indirecta la disponibilidad de agua en el suelo) en toda España con un calentamiento global de 1,5 °C, temperatura que puede alcanzarse en el corto plazo (2021-2040) (Ara Begum *et al.*, 2022).

El principal **elemento expuesto** a este riesgo es la superficie agraria, que representa el 50 %

del territorio español (MAPA, ESYRCE, 2023). Para analizar sus impactos, es crucial diferenciar entre agricultura de regadío y de secano, ya que los cultivos de secano tienen mayor grado de afectación (Espinosa-Tasón et al., 2022). También existen diferencias entre cultivos herbáceos y leñosos, cuya capacidad de recuperación y adaptación varía (Espinosa-Tasón *et al.*, 2022). Además, los suelos degradados o con índices elevados de erosión, especialmente en zonas áridas y semiáridas, agravan la vulnerabilidad al riesgo (MITERD, 2022; Beguería *et al.*, 2025).

El año 2023 fue un año seco en España donde el 42,53 % de los siniestros registrados por Agroseguro ese año (Agroseguro, 2023) estuvieron relacionados con sequías directamente. Se prevé un mayor impacto en zonas con bajos niveles de precipitación y en cultivos de secano a corto plazo (Peña-Gallardo *et al.*, 2019), que representan el 78 % del territorio agrario español (MAPA, ESYRCE, 2023). No obstante, las sequías no afectan de manera homogénea a todo el territorio, por lo que es fundamental aplicar un enfoque de zonificación del riesgo (Vicente-Serrano, 2006). En cultivos de regadío, también se han observado reducciones en la productividad (Ciscar *et al.*, 2018; Peña-Gallardo *et al.*, 2019; Rossi *et al.*, 2023), y la expansión de áreas de regadío podría aumentar la vulnerabilidad en determinadas zonas ante periodos de sequías en escenarios con menor disponibilidad de agua para riego (Martínez-Dalmau *et al.*, 2023). Cabe destacar que muchos de los modelos de predicción no contemplan restricciones en la expansión del riego por disminución de disponibilidad de agua (Histrov *et al.*, 2020). Es necesario contemplar posibles conflictos por el uso del agua con otros sectores (consumo humano, industria y generación de energía).

Los principales **factores de vulnerabilidad** incluyen la extensión de los cultivos de secano, por su dependencia exclusiva de la precipitación; el estado de la infraestructura de riego en cultivos de regadío; y la presencia de cultivos con altos requerimientos hídricos en zonas con escasez de agua, lo que aumenta la presión sobre los recursos hídricos, entre otros (Martínez-Dalmau *et al.*, 2023). A nivel económico, influyen aspectos como el tamaño de la explotación agraria, así como las características sociodemográficas de las personas que trabajan en el sector. Desde un punto de vista social, la percepción del riesgo y la implementación de medidas de prevención, de alerta y de adaptación juegan un papel crucial.

Las medidas de adaptación vinculadas a este riesgo exigen la implementación de estrategias que promuevan la eficiencia en el uso del agua, una gestión integral del recurso y sistemas de alerta temprana ante sequías. Algunas medidas pueden ser aplicadas por los propios agricultores y gestores de tierras, mientras que otras requieren una gobernanza eficaz del uso del agua. Por ejemplo, se podrían incorporar índices de sequía basados en información de satélite (García-León *et al.*, 2019). En cultivos de secano, la implementación de prácticas agronómicas que mejoren la disponibilidad del agua para las plantas resultaría beneficioso

(García-Franco *et al.*, 2015; Luján Soto *et al.*, 2021; Plaza-Bonilla *et al.*, 2015). En sistemas de regadío, una planificación consciente es esencial, ya que la expansión de áreas de regadíos en zonas con escasez hídrica podría agravar la situación (Sillero-Medina *et al.*, 2024). El uso de técnicas como el riego deficitario (García-Tejero *et al.*, 2024; Moldero *et al.*, 2021), la modernización de infraestructuras de riego, el uso de tecnologías avanzadas y la adopción de cultivos más resilientes al estrés hídrico son claves para la adaptación, siempre que no se comprometa la sostenibilidad del recurso hídrico. Además, una planificación territorial integrada del regadío podría optimizar el uso del agua, así como el bienestar social del territorio (Alcon *et al.*, 2022**;** Lorite *et al.*, 2022). Otras medidas, como la tarificación del agua y las cuotas de asignación (reducción proporcional de las dotaciones) pueden ser herramientas adecuadas para reducir la demanda o asignar recursos hídricos escasos, según algunos estudios (Valle-García *et al.*, 2024).

La adaptación al riesgo de sequía también pasa por mejorar la disponibilidad de agua existente en el suelo, especialmente interesante en cultivos de secano, pero también en regadío, mediante técnicas regenerativas de suelo, rotaciones de cultivo más diversas, uso de cubiertas vegetales y prácticas como el no laboreo (Luján Soto *et al.*, 2021; Madejón *et al.*, 2023; Plaza-Bonilla *et al.*, 2015). Estas prácticas contribuyen a mejorar la calidad del suelo (Almagro *et al.*, 2016), y aumentan su resiliencia frente a la sequía (AgriAdapt, 2019; UPA, 2023). Otras estrategias incluyen la aplicación de buenas prácticas de fertilización, servicios de asesoramiento, capacitación y sistemas de alerta temprana (UPA, 2023).

La **Figura 2** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. Se han identificado unos riesgos intermedios, así como posibles impactos y riesgos en cascada identificados, propios del sector o interrelacionados con otros sectores.

El riesgo podría verse afectado por otros riesgos subyacentes, como son los conflictos por el uso del agua, los cambios en la demanda de los consumidores que induzcan transformaciones en los cultivos que impliquen mayor demanda de agua, así como aquellos derivados de los problemas estructurales del sector agrario que determinan cualquier otro aspecto a tratar en el mismo.

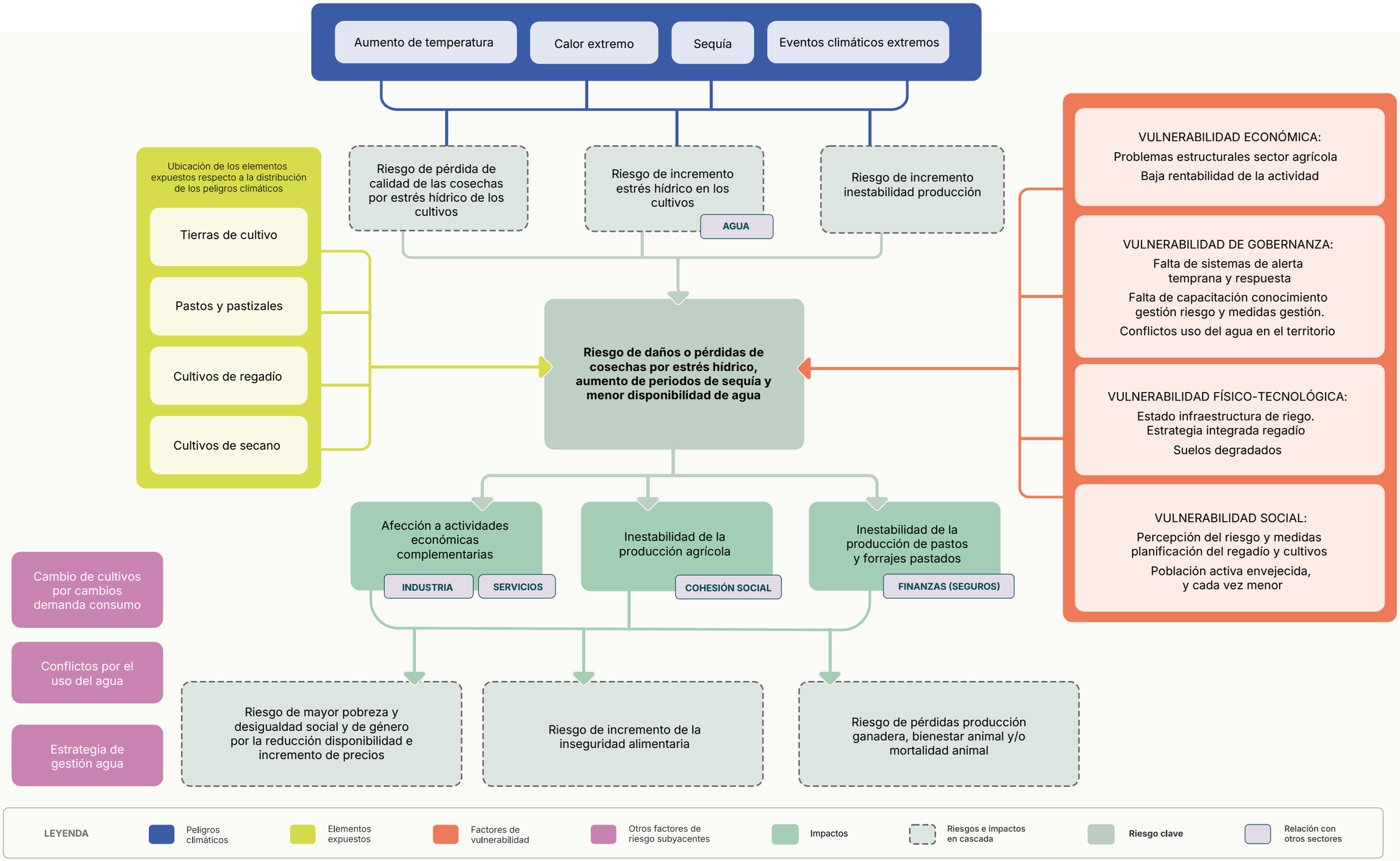


Figura 2. Cadena de impacto RC5.1. Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.

Ficha 1. Análisis del riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Crítica	Crítica	Catastrófica
	Los impactos de las sequías de los últimos años han sido más elevados en España que en otros países europeos (EEA, 2024).	Se estima que las pérdidas anuales por sequía en la agricultura podrían alcanzar alrededor del 5 % del valor añadido bruto (VAB) en regiones del Sur de España (Motta *et al.*, 2025; Rossy *et al.*, 2023; EEA, 2024).	Los riesgos de pérdidas de producción agraria por sequía aumentan en un escenario de mayor calentamiento (EEA, 2024). Las proyecciones estiman pérdidas de hasta un 10 % VAB.	Se proyecta que la frecuencia media de sequías se duplicará en casi el 60 % en la región mediterránea (Nauman *et al.*, 2021). En el peor escenario de calentamiento, las pérdidas podrían alcanzar hasta el 15 % del VAB agrícola en ciertas regiones, especialmente en la zona mediterránea (Motta *et al.*, 2025).
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Alto ◆◆◆ · Alta · Alto	Medio ◆◆ · Media · Alto	Medio ◆◆ · Media · Alto	Medio ◆◆ · Media · Alto
	Existen estudios del impacto actual de este riesgo en el sector agrario.	(EEA, 2024).La literatura no siempre incorpora de manera explícita los efectos de ciertas medidas de adaptación en los cultivos, lo que introduce un grado de incertidumbre en las proyecciones de riesgo y puede limitar la confianza en los resultados obtenidos.	(EEA, 2024).La literatura no siempre incorpora de manera explícita los efectos de ciertas medidas de adaptación en los cultivos, lo que introduce un grado de incertidumbre en las proyecciones de riesgo y puede limitar la confianza en los resultados obtenidos.	(EEA, 2024).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Aumento de la temperatura. • Calor extremo. • Aumento sequías recurrentes. • Eventos climáticos extremos.	• Cultivos de secano. • Cultivos de regadío con infraestructuras de riego en malas condiciones. • Cultivos de regadío en zonas con riesgo de sequía. • Cultivos en general en zonas con suelos degradados y/o zonas áridas, semiáridas. La distribución geográfica del riesgo es a lo largo de toda la superficie agraria del territorio.	• Características de la población activa del sector agrario. • Marco regulatorio gestión de los recursos hídricos. • Estrategia de riego. • Mecanismos de alerta temprana y respuesta de las administraciones públicas. • Capacidad y legitimidad de las administraciones públicas. • Percepción del riesgo, y medidas de acción.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los daños o pérdidas de cosechas en España tienen efectos más allá de nuestras fronteras en el comercio de alimentos e inciden en la seguridad alimentaria de otros países.
Territoriales	Todo el territorio agrario español se ve afectado por este riesgo. El riesgo tiene mayor impacto en zonas con bajos niveles de precipitación (Peña Gallardo, 2019), con especial incidencia en los cultivos de secano. No obstante, los cultivos de regadío también pueden verse afectados, incluso en áreas con disponibilidad de agua, si se produce un periodo prolongado de sequía.
Sociales	Los factores sociales están relacionados principalmente con la dependencia de la actividad agrícola de las zonas rurales y agrarias. Por un lado, el riesgo afectará, a nivel de rentabilidad económica, sobre la población activa agraria. Por otro, la reducción en la disponibilidad de alimentos y el incremento de precio de estos tendrá un impacto mayor en las rentas más bajas, así como en sectores dependientes de materias primas agrarias.
Maladaptación	La expansión del regadío en zonas con escasez de agua, sin planificación ni coherencia con la previsión actual y futura del recurso disponible, puede convertirse en un factor de maladaptación. Medidas habituales de los Planes Especiales de Sequía en periodos de escasez severa, como la autorización de apertura de pozos o el incremento de extracción de los acuíferos, puede acarrear múltiples consecuencias negativas como: la sobreexplotación de acuíferos, la intrusión salina en áreas costeras, la afección a ecosistemas dependientes del agua o la conversión de una medida coyuntural en estructural, agravando así el problema en el sistema agrario.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Género	Existen estudios disponibles a nivel mundial (UNCCD, 2022) que integran el enfoque de género con respecto a este riesgo y concluye que las mujeres se ven más afectadas que los hombres por fenómenos como la desertificación y la sequía, porque cuentan con menos herramientas para responder a sus efectos en lo referente al acceso a las variedades de cultivos, a las tecnologías de riego y a las distintas técnicas agrícolas a emplear según la situación. En España, la agricultura sigue siendo un sector donde se observa una importante brecha de género, aunque las mujeres están asumiendo progresivamente roles más relevantes y liderando iniciativas en el medio rural. Mientras que la participación femenina en la agricultura ha aumentado, todavía existen desigualdades en el acceso a la tierra, el empleo y el liderazgo (MAPA, 2025b). Esta desigualdad estructural incrementa la vulnerabilidad de las mujeres frente a los impactos del cambio climático, al tiempo que limita su capacidad de adaptación y participación en los procesos de resiliencia del sector.

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales críticos de sequía se definen generalmente por la activación de Planes Especiales de Sequía, los cuales se basan en indicadores hidrometeorológicos como el SPEI (Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizada). Este índice permite detectar anomalías en el balance hídrico y cuantificar la severidad de las sequías. Según el Atlas Europeo de Sequías (Rossi *et al.*, 2023), se prevé una disminución generalizada del SPEI en toda España bajo un escenario de calentamiento global de 1,5 °C, temperatura que podría alcanzarse en el corto plazo (2021–2040). Esta disminución implica un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos de sequía. Para estimar umbrales críticos de sequía, se puede considerar un valor del SPEI por debajo de –1 como indicativo de sequía moderada, y por debajo de –1.5 o –2 para sequías severas o extremas, respectivamente (Vicente-Serrano *et al.*, 2010). Existen además estudios que vinculan el estrés hídrico con la productividad de los cultivos. Por ejemplo, Vila-Traver *et al.* (2021) identifican umbrales a partir de los cuales la reducción del contenido de agua en el suelo afecta significativamente el rendimiento agrícola, especialmente bajo condiciones repetidas de sequía.
Lock-in/Bloqueo	La expansión del regadío de forma no controlada puede llegar a ser un factor de bloqueo para la gestión de este riesgo.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• PNACC 2021-2030. • Planes Especiales de Sequía y Planes Hidrológicos de cuenca de cada una de las Confederaciones Hidrográficas. • PNIEC. • PAC y PEPAC. • Otras medidas extraordinarias. • Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• Ministerio de Agricultura. • Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Informes y Mapas de seguimiento de situación de Sequía y Escasez). • Confederaciones Hidrográficas. • Comunidades de regantes, Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España. • Productores y productoras agrarios. • Cooperativas agrarias. • Sindicatos agrarios. • Empresas agrarias.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Algunas medidas de adaptación relacionadas con la mejora de las propiedades de los suelos agrarios, como prácticas que mejoren la retención del agua, pueden además mejorar las características de los suelos pobres en materia orgánica.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Este riesgo puede conducir al deterioro del carbono orgánico del suelo, incrementando así las emisiones asociadas a la pérdida de carbono edáfico (Almagro *et al.*, 2009). Asimismo, este riesgo puede afectar negativamente las estrategias de descarbonización que dependen de cultivos energéticos, biocombustibles o biomasa. Además, la pérdida de cosechas compromete el funcionamiento de los sumideros de carbono y puede generar un aumento indirecto de emisiones por cambios en el uso del suelo orientados a mantener o incrementar la productividad.
Déficits de información	Aunque existen estudios de proyecciones futuras de disponibilidad de agua, así como opciones de medidas de adaptación, no existen proyecciones del impacto de la implementación de diferentes medidas de adaptación frente al riesgo.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.2. Riesgo clave 5.2. Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos

Los fenómenos climáticos extremos, como olas de calor, lluvias intensas, inundaciones, sequías extremas e incendios forestales constituyen peligros climáticos clave que intensifican el riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas. Estos episodios impactan negativamente sobre el desarrollo de los cultivos, en particular durante fases fenológicas críticas como el llenado de granos, lo que se traduce en reducciones sustanciales del rendimiento (Yin & Leng, 2022). Según los datos de los últimos años, estos eventos cada vez son más frecuentes (AEMET). Entre estos peligros climáticos, las sequías y los aumentos de temperatura representan actualmente el mayor impacto negativo sobre la agricultura europea, una tendencia que se espera que continúe en el futuro (Devot *et al.*, 2023). En este contexto es cada vez más frecuente la coincidencia de episodios de sequía (estrés hídrico) con olas de calor (estrés térmico). Esta simultaneidad agrava significativamente los efectos negativos sobre los cultivos, ya que ambas condiciones extremas afectan de manera sinérgica los procesos fisiológicos de las plantas. Como resultado, se incrementa el riesgo de daños severos en los cultivos, reducción en los rendimientos y, en casos extremos, pérdidas totales de la producción agrícola.

A nivel mundial, se estima que cerca del 23 % de las pérdidas económicas totales provocadas por fenómenos extremos afectan al sector agrícola (FAO, 2023) y se constata un aumento de dichas pérdidas en los últimos 30 años. La siniestralidad causada por fenómenos climáticos extremos puede llegar a suponer la merma de un 6 % de la producción agraria cada año (Resco *et al.*, 2022) y del PIB del sector agrario (FI-compass, 2025). En la región mediterránea, del total de las pérdidas económicas debidas a eventos climáticos extremos, el 60 % se produce en el sector agrario (Naumann *et al.*, 2021). El capital asegurado por los seguros agrarios ha aumentado como respuesta al incremento de la siniestralidad y a la mayor frecuencia de fenómenos climáticos extremos (ENESA,2023), reflejando la creciente percepción del riesgo climático y la necesidad de mecanismos de cobertura.

Los **elementos expuestos** a este riesgo se concentran principalmente en la superficie agraria (50 % del territorio español), es decir, pastos y pastizales, cultivos herbáceos anuales y cultivos leñosos. Los cultivos de secano en general están más expuestos a este riesgo, especialmente ante eventos como olas de calor y sequías, que provocan riesgos de estrés térmico e hídrico en los cultivos (Devot *et al.*, 2023). Así mismo, inundaciones torrenciales (Rosenzweig *et al.*, 2001) que pueden ser por lluvias intensas o por desbordamiento de ríos pueden afectar a las zonas de cultivo próximas. En el caso del granizo, los cultivos leñosos son los que se encuentran normalmente más afectados por esta amenaza.

Como **factores de vulnerabilidad** del riesgo se identifican aspectos estructurales que condicionan la situación económica, así como la capacidad de adaptación del sector. Los pequeños agricultores, por ejemplo, pueden ser más vulnerables por su dificultad de recuperarse frente a pérdidas de rendimiento significativas. A nivel social, hay ciertos factores, como la percepción del riesgo, la capacitación y el grado de conocimiento sobre el riesgo y las posibles medidas de gestión, que resultan clave. Por ejemplo, la existencia, o no, de redes de colaboración territorial pueden ser determinantes.

Las medidas de adaptación a este riesgo pueden contemplarse desde diferentes perspectivas (Devot *et al.*, 2023). Por un lado, están ya disponibles instrumentos de gestión de riesgos, como los seguros agrarios; pero es necesario extender otras herramientas, como los sistemas de alerta temprana, utilizando, por ejemplo, indicadores climáticos comunes respaldados con información satelital (García-León *et al.*, 2019), así como protocolos de acción y el fomento de redes de apoyo. Desde el punto de vista de las medidas de adaptación aplicadas en campo, destacan las prácticas agrarias que fortalecen la resiliencia de los agroecosistemas; como la mejora de la salud del suelo y de sus características fisicoquímicas; frente a posibles eventos extremos. La protección de cultivos mediante infraestructuras específicas, como las redes antigranizo, también puede considerarse una medida útil de adaptación, especialmente si se complementa con sistemas de alerta temprana (UPA, 2018).

El riesgo podría verse afectado por otros riesgos subyacentes derivados principalmente de los problemas estructurales del sector agrario, los cuales condicionan su dinámica, planificación y capacidad de respuesta ante impactos climáticos.

La **Figura 3** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. Se han identificado unos riesgos intermedios, así como posibles impactos y riesgos en cascada identificados, propios del sector o interrelacionados con otros sectores.

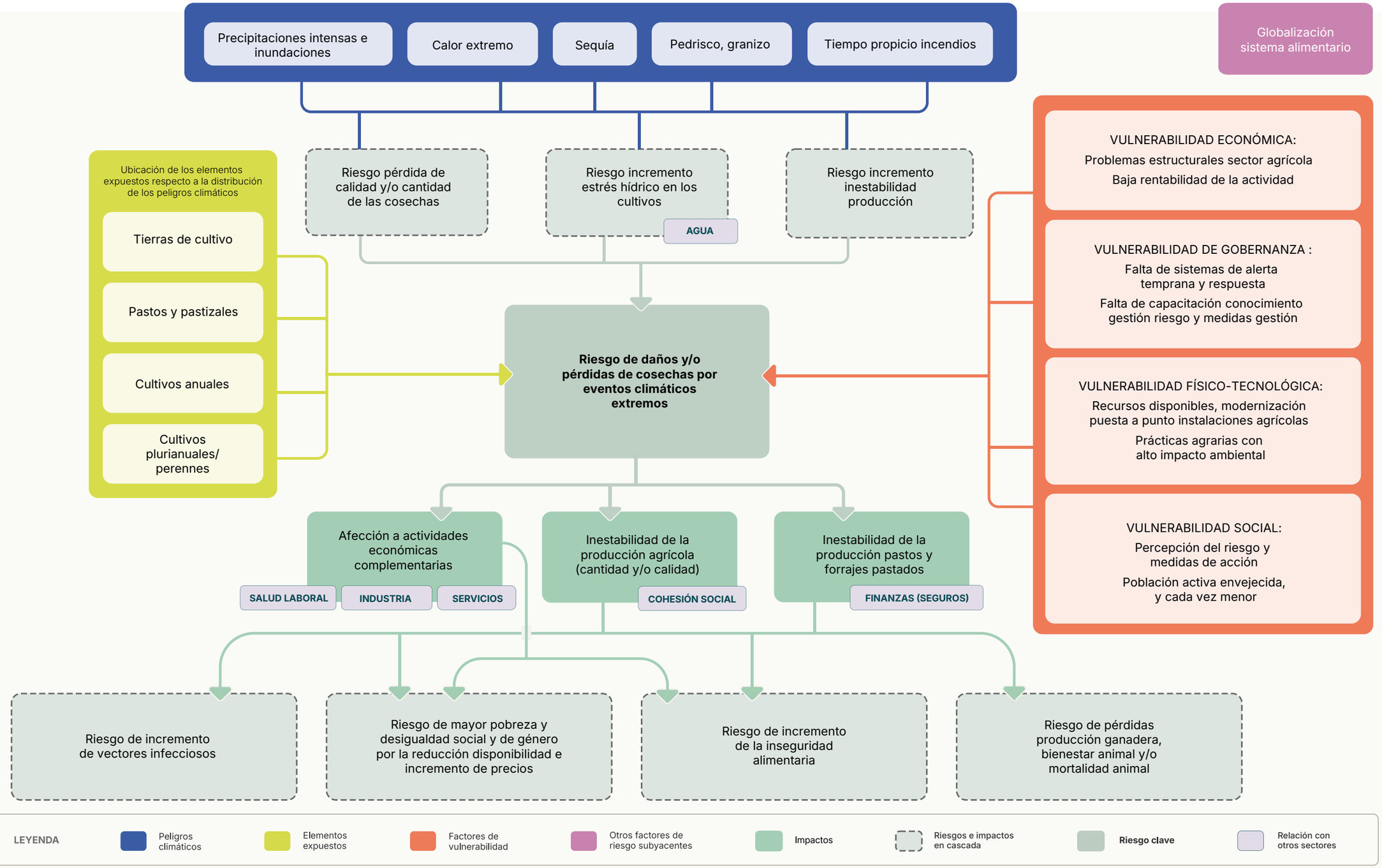


Figura 3. Cadena de impacto RC5.2. Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.

Ficha 2. Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Crítica	Crítica	Catastrófica
	Los impactos de eventos climáticos extremos han aumentado en los últimos años provocando pérdidas en producción agraria, concretamente, ha aumentado para calor extremo (Devon *et al.*, 2023); y sequías (EEA., 2024).	Las pérdidas de producción agraria se estima que aumenten debido a la intensidad y mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, como en el caso de olas de calor y sequías (Devon *et al.*, 2023; EEA, 2024).	Las pérdidas de producción agraria se estima que continúen aumentando debido a la intensidad y mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, como en el caso de olas de calor y sequías (Devon *et al.*, 2023; EEA, 2024).	Con un calentamiento de 4º C, se podrían alcanzar niveles catastróficos de pérdidas en la producción agraria, así como la imposibilidad de cultivos en zonas actuales de producción (EEA, 2024).
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Media · Alto	· Media · Alto	· Media · Alto
	Existe evidencia de que la creciente frecuencia e intensidad de diversos eventos climáticos extremos afectan a la producción de alimentos (IPCC, 2019).	En el caso de algunos eventos extremos, como las inundaciones, existen otros factores no climáticos que pueden incrementar el riesgo.	En el caso de algunos eventos extremos, como las inundaciones, existen otros factores no climáticos que pueden incrementar el riesgo.	En el caso de algunos eventos extremos, como las inundaciones, existen otros factores no climáticos que pueden incrementar el riesgo.

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Precipitaciones intensas e inundaciones. • Calor extremo. • Sequías recurrentes y prolongadas.	• Tierras de cultivo. • Pastos y pastizales. • Cultivos herbáceos. • Cultivos leñosos. • Cultivos forrajeros.	• Características de la población activa del sector agrario y situación económica. • Insuficiente grado de capacitación, conocimiento del riesgo y medidas de gestión de este.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Pedriscos, granizos más frecuentes y en épocas menos habituales. • Tiempo propicio para incendios.	• Cultivos de secano. • Cultivos de regadío.	• Sistemas de alerta temprana y respuesta escasos o nulos. • Impactos negativos de determinadas prácticas agrarias sobre los ecosistemas.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los efectos provocados por fenómenos climáticos extremos pueden provocar daños o pérdidas de cosechas en España, con efectos más allá de nuestras fronteras en el comercio de alimentos, e incidir en la seguridad alimentaria de otros países.
Territoriales	Los riesgos asociados a fenómenos climáticos extremos se manifiestan con mayor intensidad en regiones de clima mediterráneo y zonas cálidas. No obstante, la intensificación y recurrencia de estos eventos afecta progresivamente a la totalidad del territorio, sin distinción clara entre regiones tradicionalmente más vulnerables y aquellas que antes se consideraban menos expuestas (CEDEX,2021).
Sociales	El cambio climático afecta de manera desigual a distintos grupos humanos. La capacidad de respuesta a los eventos climáticos extremos será menor en sistemas de cultivos de secano, así como en pequeñas explotaciones agrarias. Las olas de calor y el calor extremo afectan a las condiciones laborales de las personas trabajadoras del campo.
Maladaptación	Las medidas de control de este riesgo pueden provocar impactos negativos. Por ejemplo, poner diques/motas para proteger un cultivo pueden desplazar el impacto aguas abajo y, además, en caso de ser sobrepasada, no permitiría la evacuación de agua agravando el impacto.
Género	En España, la agricultura sigue siendo un sector donde se observa una brecha de género, aunque las mujeres están asumiendo roles más importantes y liderando iniciativas en el medio rural. Mientras que la participación femenina en la agricultura ha aumentado, todavía existen desigualdades en el acceso a la tierra, el empleo y el liderazgo (MAPA, 2025b). Esta desigualdad estructural incrementa la vulnerabilidad de las mujeres frente a los impactos del cambio climático, al tiempo que limita su capacidad de adaptación y participación en los procesos de resiliencia del sector.

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Este riesgo está condicionado por varios peligros climáticos con diferentes comportamientos y umbrales críticos. La intensificación de fenómenos extremos, especialmente la sequía, es una preocupación principal (EEA, 2024). Bajo condiciones de amenazas prolongadas en el tiempo, como en el caso de las olas de calor, la magnitud del riesgo aumenta considerablemente, incrementándose además otras amenazas como el riesgo de incendios (de Rigo *et al.*, 2017; Feyen *et al.*, 2020).

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	En el caso de fenómenos como las sequías, la expansión no controlada del regadío puede convertirse en un obstáculo para una gestión eficaz del riesgo. Del mismo modo, la persistencia de ciertas prácticas agronómicas deteriora la calidad del suelo, lo que también limita las capacidades de adaptación. Por otra parte, la ocupación excesiva de llanuras de inundación representa una barrera adicional para la gestión adecuada del riesgo asociado a eventos extremos.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• PNACC 2021-2030. • PNIEC. • PAC y PEPAC. • Planes Hidrológicos de Cuencas de cada una de las cuencas Hidrográficas. • Seguro Agrario. • Otras medidas extraordinarias.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Ministerio de Agricultura. • Ministerio de Transición Ecológica. • AEMET. • Confederaciones Hidrográficas. • Comunidades de regantes, Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España. • Comunidades autónomas. • Productores y cooperativas agrarias. • Sindicatos agrarios. • Empresas agrarias.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La implementación de medidas de adaptación puede modificar los riesgos en cascada asociados a dichos eventos, contribuyendo a una gestión integral del riesgo.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Este riesgo puede provocar pérdidas de carbono orgánico de los suelos agrarios. En el caso de inundaciones, la pérdida de suelo asociada conlleva pérdidas de carbono. Para el caso del incremento de incendios forestales, también se produce aumento de emisiones de CO2.
Déficits de información	Existe mucha bibliografía sobre ciertos eventos, como olas de calor y sequías, pero menos estudios sobre los impactos de otros eventos climáticos extremos, como inundaciones, incendios, pedriscos.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.3. Riesgo clave 5.3. Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal y aumento de mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y por descenso de precipitaciones.

Diversos **peligros** derivados del cambio climático afectan al sector ganadero y generan impactos tanto biológicos como económicos. Entre los peligros climáticos más significativos se encuentran el aumento de las temperaturas, los episodios de calor extremo y los periodos prolongados de sequía, que reducen el bienestar animal y afectan directamente a la productividad. La pérdida de bienestar se traduce en menores rendimientos, una disminución de tasas de fertilidad y una reducción de la prolificidad (UPA, 2018). El cambio climático también influye de manera indirecta en la disponibilidad y calidad de los recursos utilizados en la producción ganadera. La disminución de los rendimientos en cultivos forrajeros y la escasez de recursos hídricos agravan aún más la situación, especialmente en los sistemas que dependen de pastos y forrajes locales.

Tanto las instalaciones ganaderas como la cabaña ganadera en su conjunto están **expuestas** a los efectos del cambio climático. Sin embargo, existen diferencias importantes entre los sistemas de producción, particularmente entre aquellos con animales estabulados y aquellos con base territorial, donde los animales pastan en espacios abiertos. En estos últimos, los recursos forrajeros, como pastos y cultivos destinados a la alimentación animal, están altamente expuestos a las variaciones climáticas.

La **vulnerabilidad** del sector ganadero frente al cambio climático está condicionada por problemas estructurales de carácter socioeconómico. El grado de capacitación y conocimiento sobre el riesgo, así como la ausencia de medidas de gestión adecuadas, aumentan la vulnerabilidad. En el caso de las instalaciones ganaderas, sus condiciones, su estado de mantenimiento y la disponibilidad de mecanismos de respuesta ante amenazas climáticas son determinantes para reducir los impactos, así como la densidad del ganado y las situaciones de estrés colectivo (Ramón-Moragues *et al.*, 2021). En los sistemas extensivos, la vulnerabilidad depende de factores como el acceso a recursos territoriales y la autosuficiencia alimentaria del ganado, así como una creciente generalización del riesgo de estrés térmico extremo (Thornton *et al.*, 2021). Por último, la existencia de sistemas de alerta temprana y de mecanismos de respuesta ante peligros climáticos es un factor determinante en la reducción de la vulnerabilidad del sector.

El aumento de las temperaturas provoca episodios de estrés térmico en los animales, que afectan a su bienestar y reducen su productividad. Diversos estudios han documentado estos efectos en distintos sistemas de producción. Para el caso de animales estabulados, se han observado

impactos tanto en rumiantes de leche (Galán *et al.*, 2018) como en otros rumiantes en general (Del Prado *et al.*, 2020). En la producción porcina, el estrés término afecta significativamente a la productividad (Renaudeau *et al.*, 2011) y también a la calidad de la carne (Pardo *et al.*, 2021b). En sistemas de producción aviar de puesta, las altas temperaturas disminuyen el rendimiento de las aves (Gil *et al.*, 2023).

En los sistemas ganaderos con base territorial, donde los animales pasan la mayor parte del tiempo en el exterior, también se han observado disminuciones en la producción. Estos sistemas, especialmente los basados en pastoreo, son más vulnerables a las condiciones climáticas extremas debido a su exposición continua (Blanca Penedo *et al.*, 2020; Herrera, Pedro M. (ed.) 2020; Iglesias *et al.*, 2016; Rubio y Roig, 2017). En sistemas ganaderos sin base territorial, con estabulación permanente, aunque es posible controlar las condiciones de temperatura y humedad dentro de las instalaciones, como medida de adaptación al riesgo, se reconocen otros aspectos de vulnerabilidad, principalmente relacionados con la dependencia externa de energía e insumos alimentarios.

La reducción en la productividad asociada al aumento del índice de estrés por calor conlleva diversas consecuencias, como la disminución de la fertilidad, la reducción en la producción de leche y la menor ganancia de peso en animales de engorde (Galán *et al.*,2018; Ramón-Moragues *et al.*, 2021). Un estudio en Extremadura reportó pérdidas de hasta el 50 % en la producción de corderos debido al estrés térmico (Thomasz *et al.,* 2020). Además, el estrés térmico afecta el bienestar animal, provocando alteraciones fisiológicas, comportamientos anormales y, en casos extremos, un aumento de la mortalidad (Blanca Penedo *et al.*, 2020; Galán *et al.*, 2018; Parés *et al.*, 2023).

El cambio climático también favorece la proliferación de vectores infecciosos, aumentando la susceptibilidad del ganado a enfermedades y, por ende, el riesgo de pérdidas productivas. Diferentes estudios han señalado que el cambio climático está alterando la distribución de patógenos y enfermedades zoonóticas, permitiendo su expansión a nuevas latitudes (Blanca Penedo *et al.*, 2020; Sanz y Galán., 2022). Se ha observado un aumento en el número de animales afectados y en la extensión territorial de enfermedades como la lengua azul, así como la expansión de otras enfermedades transmitidas por vectores, impulsadas por el cambio en las condiciones climáticas.

Otro impacto significativo del cambio climático en la ganadería es la creciente inestabilidad en la producción de forrajes y pastos, lo que afecta especialmente a las explotaciones con base territorial y alta dependencia de recursos locales. La reducción en la disponibilidad de estos insumos genera incertidumbre, incrementa los costos de producción y eleva los precios (Rubio y Roig, 2017). No obstante, el pastoreo puede ser una medida de adaptación con potencial para muchos sistemas extensivos (Fundación Entretantos, 2025; Llorente *et al.,* 2024), al igual que el cultivo de mezclas de forrajes adaptados a cada territorio (Plaza *et al.*, 2024).

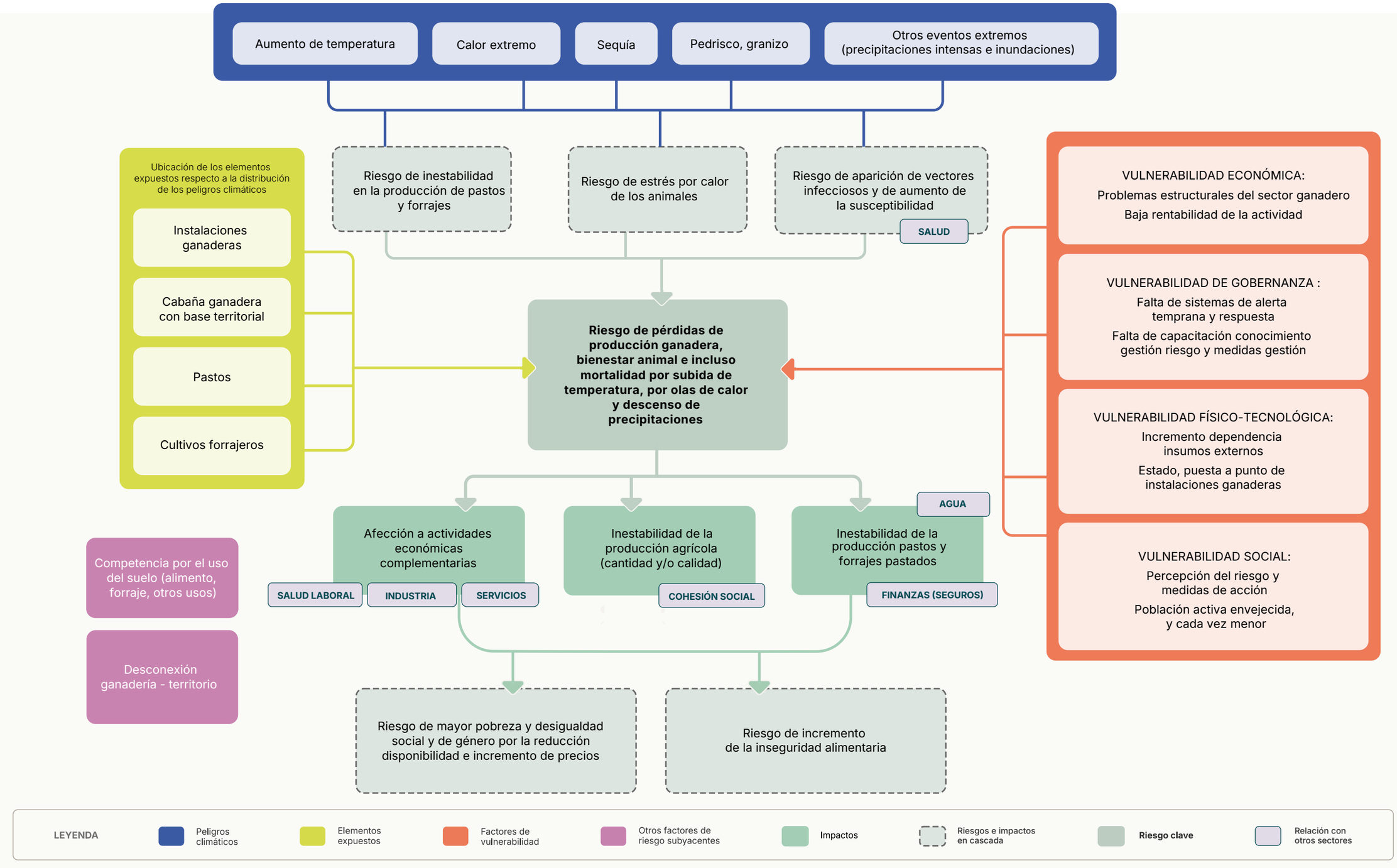


Figura 4. Cadena de impacto RC5.3. Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y por descenso de precipitaciones.

Ficha 3. Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y por descenso de precipitaciones.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial	Crítica	Crítica
	Las pérdidas productivas derivadas de los impactos del cambio climático sobre el entorno físico de los animales son ya visibles en España, así como los relacionados con la cantidad y calidad de los forrajes debidos a situaciones de sequía. Se observa una tendencia al alza en la aparición de enfermedades animales, con evidencias de nuevas rutas de transmisión y expansión de hábitats propicios para enfermedades o vectores.Además, el sector ganadero español presenta una alta dependencia de la importación de piensos, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a las alteraciones del mercado global y posibles impactos climáticos en países exportadores de materias prima (EEA, 2024).	El incremento de episodios de falta de agua y el incremento de las temperaturas afectará tanto al bienestar de los animales como a la disponibilidad de alimentación. Se prevé un incremento de aparición de enfermedades. (EEA, 2024; Blanca Penedo *et al.*, 2020).	Se prevé un aumento en la duración e intensidad de los periodos de estrés por calor, lo que conllevará pérdidas en la productividad y una reducción en la rentabilidad de las explotaciones ganaderas. En el caso del vacuno de leche, las proyecciones estiman una disminución del 2,8 % producción. Para el sector porcino, también se anticipa un incremento del estrés térmico crónico, con posibles consecuencias sobre el bienestar animal y el rendimiento productivo. (Hempel *et al.*, 2019; Renaudeau & Dourmad 2022; EEA, 2024).	La severidad del impacto dependerá de las condiciones ambientales, así como de las posibles medidas adoptadas (EEA, 2024).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Media · Alto	· Media · Alto	· Media · Alto
	Existen evidencias de la severidad del impacto en los últimos años.	Existe percepción creciente del riesgo desde el punto de vista de sanidad animal.	Existe percepción creciente del riesgo desde el punto de vista de sanidad animal.	Existe percepción creciente del riesgo desde el punto de vista de sanidad animal.

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Aumento de temperaturas. • Calor extremo. • Sequías recurrentes y prolongadas. • Pedriscos, granizo. • Otros eventos extremos (precipitaciones intensas e inundaciones.	• Instalaciones ganaderas. • Cabaña ganadera con base territorial. • Pastos y forrajes. • Cultivos forrajeros. • Trabajadores y trabajadoras.	• Características de la población activa del sector ganadero y situación económica. • Insuficiente grado de capacitación, conocimiento del riesgo y medidas de gestión de este. • Sistemas de alerta temprana y respuesta escasos o inexistentes. • Impactos negativos de determinadas prácticas ganaderas sobre los ecosistemas.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los efectos provocados por fenómenos climáticos extremos pueden causar interrupciones en las cadenas actuales de suministro de alimentos. Esto generará impactos en el comercio internacional y tendrá repercusiones especialmente significativas en la ganadería intensiva, debido a posibles alteraciones en cadenas de suministro o al incremento en los precios de los insumos alimentarios para los animales.
Territoriales	Los riesgos asociados a determinados fenómenos climáticos extremos, como sequías y olas de calor, tienen mayor incidencia en zonas mediterráneas y en regiones de climas más cálidos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Sociales	El cambio climático afecta de manera desigual a distintos grupos humanos. Los problemas estructurales del sector condicionan su capacidad de respuesta a los eventos climáticos extremos, la cual es menor en sistemas de ganadería extensiva, pequeñas explotaciones, así como en ganaderías gestionadas por personas de mayor edad.
Maladaptación	Algunas medidas de adaptación inapropiadas incluyen el uso de razas no adaptadas a condiciones climáticas locales, así como el sobrepastoreo, que provoca la degradación del suelo y problemas de producción de pastos. Para el caso de sistemas confinados, el elevado uso de piensos provoca aumento de la dependencia externa de la alimentación y de la huella ambiental; además, la extensión de este modelo puede generar el incremento de la demanda de energía para refrigeración de las instalaciones, así como el aumento de la demanda de agua en zonas con estrés hídrico sin gestión eficiente.
Género	En España, la ganadería continúa siendo un sector marcado por una notable brecha de género. Aunque la participación de las mujeres ha aumentado en los últimos años, persisten desigualdades significativas en el acceso a la tierra, al empleo y a los puestos de liderazgo (MAPA, 2025b). Además, aún son escasos los estudios que visibilicen las experiencias y contribuciones de las mujeres en este ámbito (Fernández-Giménez *et al.*,2019). Esta desigualdad estructural incrementa la vulnerabilidad de las mujeres frente a los impactos del cambio climático, al tiempo que limita su capacidad de adaptación y participación en los procesos de resiliencia del sector.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Existen varios estudios y modelos que cuantifican el impacto del estrés por calor en la productividad de los animales y estiman umbrales críticos. El índice de temperatura y humedad (ITH) de 72-74 es un punto de alerta, y valores superiores a 84 son considerados críticos (Blanco-Penedo *et al.*, 2020; Hempel *et al.*, 2019; Pardo *et al.*, 2021a; Ramón-Moragues *et al.*, 2021).
Lock-in/Bloqueo	La ausencia de medidas de adaptación, así como una falta de conexión entre la agricultura y la ganadería, podrían afectar de manera negativa a este riesgo. La gestión de este dependerá de la transformación de los sistemas productivos (EEA, 2024).
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• PNACC 2021-2030. • PNIEC. • PAC y PEPAC. • Seguro Agrario. • Otras medidas extraordinarias. Por ejemplo, planes de respuesta a situaciones de sequía.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• Ministerio de Agricultura. • Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. • AEMET. • CCAA. • Organizaciones productores agrarios. • Cooperativas agrícolas. • Empresas agrarias.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación pueden conseguir mantener la productividad, así como evitar pérdidas económicas en las instalaciones ganaderas. Medidas relacionadas con el uso sostenible de recursos forrajeros, pastos y agua fortalecen la resiliencia de los sistemas productivos, además, promueven el bienestar animal.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Generalmente el impacto es negativo, las pérdidas de productividad, por lo que general, requieren mayores esfuerzos para mantener los mismos valores de producción y, por tanto, implican mayores emisiones de gases asociados a la producción ganadera, CH4 principalmente (Hempel *et al.*, 2019).
Déficits de información	Aunque existen en la literatura estudios de impactos del estrés por calor (generalmente en sistemas de animales confinados) y de la aparición y aumento de enfermedades, no siempre esos estudios diferencian por sistemas productivos, ni por los efectos que tendrán en la producción final ganadera (Rivera-Ferre *et al.*, 2016).
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.4. Riesgo clave 5.4. Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas.

El cambio climático está teniendo un impacto significativo sobre los ecosistemas marinos clave en España, así como sobre las comunidades costeras que dependen de ellos (Chust *et al.*, 2025; EEA, 2024; Ojea *et al.*, 2023). Entre los principales **peligros climáticos** se encuentran el ascenso del nivel de mar, las olas de calor marina, las inundaciones costeras y la acidificación de los océanos (Calvo *et al.*, 2011; Sanz y Galán, 2020 (ed.)), factores que afectan directamente tanto a la distribución como a los hábitats de especies comerciales, repercutiendo en actividades como la pesca y el marisqueo (Sabatés *et al.*, 2006; VADAPES II). Estos cambios han provocado desplazamientos de especies hacia otras latitudes o mayores profundidades, lo que altera la disponibilidad de capturas y modifica el esfuerzo pesquero necesario. Además, las instalaciones de acuicultura, en especial aquellas ubicadas en zonas costeras, también sufren las consecuencias del cambio climático. Se ha observado un incremento en la incidencia de plagas, enfermedades y especies invasoras, lo que afecta negativamente los hábitats marinos y reduce la disponibilidad de alimento para las especies cultivadas (EEA, 2024).

Los **elementos expuestos** a los efectos derivados del cambio climático se concentran principalmente en las regiones marinas (Atlántico, Mediterráneo e Islas Canarias), así como en las áreas de pesca donde opera la flota española (MAPA, 2024). Las instalaciones de acuicultura y las poblaciones pesqueras constituyen asimismo elementos especialmente expuestos.

Entre los principales factores de **vulnerabilidad** se encuentran aspectos estructurales del sector, la disminución de la población activa, el estado de la flota y la sobreexplotación en ciertas zonas; lo que agrava los impactos del cambio climático. Asimismo, la percepción del riesgo y el nivel de conocimiento sobre su gestión influyen en la capacidad de adaptación. Desde una perspectiva ambiental, la eutrofización de las aguas marinas está generando un aumento de mortalidad de especies (EEA, 2024). Además, algunas especies con baja movilidad o capacidad de adaptación, así como las comunidades pesqueras dependientes de tipos específicos de pesca, presentan una mayor vulnerabilidad (Ruiz-Díaz *et al.*, 2020). En este contexto, la cohesión social, los vínculos sociales y la capacidad adaptativa son elementos clave para reforzar la resiliencia del sector pesquero (Rubio *et al.*, 2021).

Pesca marina

En general, se están observando en todas las zonas pesqueras cambios en la distribución de las especies, así como en la estacionalidad de la pesca. En la costa atlántica, el aumento de la temperatura, la acidificación del agua y los cambios en los afloramientos marinos están afectando a especies como la sardina, el pulpo y el mejillón. También la migración de la palometa en el Atlántico Norte se ha visto influenciada por variaciones en la temperatura del agua a 200 metros de profundidad. Asimismo, los peces demersales están experimentando desplazamientos hacia el norte debido al calentamiento del mar (Punzón *et al.*, 2016; Punzón *et al.*, 2021). Las proyecciones indican que estos impactos se intensificarán en el futuro afectando a la pesca, el marisqueo y la acuicultura (Cubillo *et al.*, 2021; Sanz-Martín *et al.*, 2024). En Galicia, la biomasa de especies marisqueras como la almeja babosa, fina y japónica ha disminuido, y se prevé que el calentamiento global agrave esta tendencia. Factores adicionales como la contaminación y las mareas rojas, con efectos potencialmente tóxicos para el consumo humano, agravan aún más la situación (Pita *et al.*, 2019). En el Mediterráneo, el cambio climático ha modificado la distribución de especies de interés pesquero, observándose desplazamientos desde zonas donde el calentamiento es muy rápido a zonas donde el calentamiento es más lento (Calvo *et al.*, 2011; Sabatés *et al.*, 2006; Sanz-Martín *et al.*, 2024). En contra de lo que podría esperarse, muchas especies en el Mediterráneo occidental se han movido hacia el suroeste en vez de hacia el norte, probablemente buscando aguas más profundas y estables térmicamente (Punzón *et al.*, 2021; Sanz-Martín *et al.*, 2024). Mientras que especies de aguas cálidas, como la alacha y el palometón, han colonizado nuevas áreas, especies de aguas frías, como la maruca y el espadín, están en regresión (Sanz y Galán, 2022 (ed.)). Por otro lado, en el Cantábrico, el bonito del norte ha experimentado desplazamientos más hacia el norte en su distribución, mientras que la anchoa muestra una expansión, con aumento en la producción de huevos y del área de desove (Erauskin-Extramiana *et al.*, 2019a; Erauskin-Extramiana *et al.*, 2019b), así como cambios en la disminución de tamaño que afectan al precio de venta (Taboada *et al.*, 2024). Además, el desplazamiento de especies hacia otras regiones marinas puede generar conflictos en la gestión pesquera. De la misma forma, es importante considerar la valoración y comercialización de nuevas especies que se desplazan hacia las zonas pesqueras.

Acuicultura

El aumento de la temperatura del agua, la acidificación del océano, cambios en las corrientes marinas, así como eventos climáticos extremos, pueden afectar significativamente a la producción acuícola (Cubillo *et al.*, 2021; Padin *et al.*, 2024). Por ejemplo, el incremento térmico altera la capacidad productiva de especies actualmente cultivadas y condiciona la introducción de nuevas especies (Cubillo *et al.*, 2021). Las olas de calor favorecen el crecimiento de orga-

nismos perjudiciales que afectan negativamente a los moluscos, debilitando su capacidad de adherencia y provocando pérdidas en la producción, así como a la disponibilidad de semilla de mejillón silvestre (Padin *et al.*, 2024).

Promover una gestión sostenible de la actividad pesquera y acuícola, así como la recuperación de los stocks pesqueros podrían ayudar a compensar las pérdidas económicas y garantizar la viabilidad del sector. También es crucial extender los sistemas de alerta temprana ante eventos extremos y contaminación marina a través, por ejemplo, del uso de tecnologías avanzadas y medios de comunicación, así como de la mejora del acceso a la información. Ciertos estudios contemplan también una planificación espacial adecuada de las instalaciones, incluso su reubicación en zonas menos afectadas (Sanz y Galán, 2022 (ed.)).

La figura 5 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, así como las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) y los diferentes impactos derivados de dichas componentes. Se han identificado riesgos intermedios y posibles riesgos en cascada, tanto dentro del sector como en su relación con el sistema alimentario y otros sectores económicos.

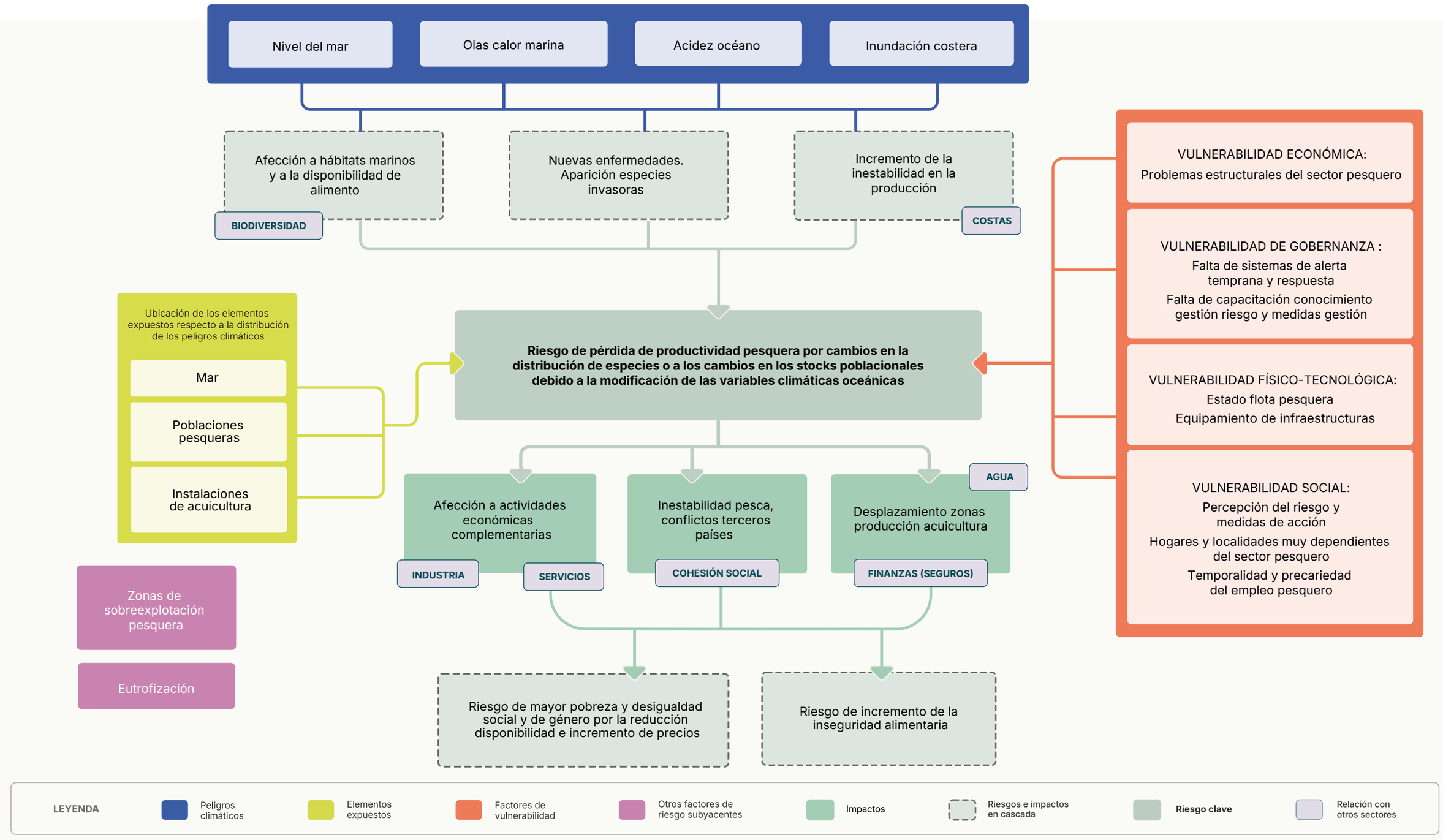


Figura 5. Cadena de impacto RC5.4. Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas.

Ficha 4. Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial	Sustancial	Crítica
	Ya se observan cambios en la distribución y migraciones de especies, con comportamientos diversos según las condiciones locales (San-Martín *et al.*, EEA, 2024).	El calentamiento del océano, la acidificación, así como otros condicionantes ambientales provocan que en las proyecciones se esperen cambios sustanciales frente a condiciones actuales (EEA, 2024).	Se prevén cambios adicionales en la composición y distribución espacial de las comunidades de peces como consecuencia del calentamiento progresivo del océano. Estas transformaciones podrían alterar las estructuras tróficas y afectar la productividad y resiliencia de los ecosistemas marinos, especialmente en regiones vulnerables como el Mediterráneo. (EEA, 2024).	Cambios más acusados en la composición y ubicación de las comunidades de peces debido al calentamiento continuo del océano (EEA, 2024), ejemplo proyecciones bonito del norte (Erauskin-Extramiana *et al.*, 2019b).
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Alto ◆◆◆ · Alta · Alto	Medio ◆◆ · Media · Alto	Medio ◆◆ · Media · Alto	Medio ◆◆ · Baja · Alto
	(Sanz-Martín *et al.*, 2024).	(Cubillo *et al.*, 2021).	(Cubillo *et al.*, 2021).	(Cubillo *et al.*, 2021).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Aumento del nivel del mar. • Olas de calor marina. • Acidez océano. • Inundaciones costeras.	• Zonas pesqueras. • Mar y medio ambiente marino. • Poblaciones pesqueras. • Instalaciones de acuicultura.	• Características situación socioeconómica del sector. • Estado general de eficiencia, seguridad y modernización de flota pesquera. • Existencia de zonas sobreexplotación pesquera. • Nivel bajo capacitación y medidas de gestión del riesgo. • Sistemas de alerta temprana y respuesta para permitir cambiar zonas, así como técnicas. • Grado de percepción del riesgo. • Eutrofización de las aguas. • Reducción producción plancton.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El comercio internacional pesquero puede verse afectado por la disminución de capturas, así como posibles tensiones políticas en aguas de pesca internacionales por asignación de cuotas.
Territoriales	Los riesgos derivados de la pérdida de productividad pesquera serán más acusados en aquellas zonas de costa donde el sector pesquero es una actividad económica clave en el territorio, así como diferencias entre zonas costeras dentro de España (Aragão *et al.*, 2022).
Sociales	Los impactos directos tendrán afecciones socioeconómicas directas para el sector, pero también un impacto en cadena en cuanto al encarecimiento de precios de los alimentos.
Maladaptación	Existen medidas que mal implementadas pueden ocasionar problemas a largo plazo, por ejemplo, la intensificación de la actividad para compensar pérdidas o en el caso de la acuicultura la inversión en infraestructuras que puedan quedar obsoletas en poco tiempo por no contemplar riesgos como el incremento del nivel del mar, así como falta de evaluación territorial y local de la implementación de medidas y normas (VADAPES I & VADAPES II -Nebot *et al.*, 2025).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Género	Los estudios disponibles, en general, no incorporan de forma sistemática el enfoque de género en el análisis de los riesgos climáticos. Las mujeres representan aproximadamente el 33,73 % del empleo en este sector, lo que evidencia una participación significativa, especialmente en actividades como el marisqueo, la acuicultura y la transformación de productos pesqueros. A pesar de ello, persisten importantes brechas de género en términos de acceso a recursos, representación en órganos de decisión, visibilidad del trabajo realizado y condiciones laborales. Esta desigualdad estructural incrementa la vulnerabilidad de las mujeres frente a los impactos del cambio climático, al tiempo que limita su capacidad de adaptación y participación en los procesos de resiliencia del sector (MAPA, 2021).
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Existen diversos estudios en la literatura que identifican umbrales críticos para diferentes especies en las zonas pesqueras españolas (Cubillo *et al.*, 2021; Erauskin-Extramiana *et al.*, 2019a; Erauskin-Extramiana *et al.*, 2019b; Sabatés *et al.*, 2006; Sanz-Martín *et al.*, 2024 Taboada *et al.*, 2024).
Lock-in/Bloqueo	La ausencia de medidas de adaptación adecuadas al contexto de las zonas pesqueras del país podría afectar de manera negativa a este riesgo, así como a actividades económicas complementarias, etc.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• PNACC 2021-2030. • PPC (Política Pesquera Común). • Proyecto AQUADAPT: Plan de Adaptación del sector de la acuicultura marina española al cambio climático. • Proyectos VADAPES y VADAPES II ADAptación y mitigación al cambio climático en el sector pesquero español: herramientas para prevenir la maladaptación en Pesquerías del Atlántico y del Mediterráneo (2023-2025).
Gobernanza de gestión del riesgo	• MAPA. • MITECO. • CCAA. • PPC. • Poblaciones pesqueras. • Empresas pesqueras. • Cofradías, cooperativas, sindicatos pesqueros.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación al riesgo pueden ayudar a aminorar los impactos directos y en cascada, así como a reducir la vulnerabilidad. Así como otros problemas estructurales que afectan al riesgo como por ejemplo la sobreexplotación de recursos pesqueros, la contaminación de las aguas marinas, la restauración y protección de ecosistemas marinos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Los ecosistemas marinos relacionados con la pesca, como los arrecifes y praderas marinas, son importantes para la captura de carbono. La pérdida de biodiversidad y cambios en especies pueden debilitar estos sumideros. Así mismo, la reducción de las capturas pesqueras podría dar lugar a un incremento de demanda de otras fuentes proteicas más intensivas en emisiones.
Déficits de información	Actualmente existen importantes déficits de información en los efectos del cambio climático sobre las corrientes marinas. Del mismo modo, se requiere un mayor conocimiento sobre el impacto de los cambios en la producción y composición del plancton, base de la cadena trófica marina, cuyo comportamiento puede verse alterado por el aumento de temperatura, la acidificación del océano y la disminución de nutrientes, afectando así la productividad pesquera y la biodiversidad. A esto se suman lagunas en la evaluación de riesgos combinados, como la interacción entre eventos extremos, contaminación y sobreexplotación, así como la escasa integración de enfoques sociales y territoriales en el análisis de vulnerabilidades.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación se centra en tres de los riesgos clave (RC5.1: RC5.2; RC5.3).

El *Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua* (RC5.1) tiene grado de entrada 9 y grado de salida 13 (**Figura 6**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de multiples ámbitos sectoriales como Agua y Recursos Hidricos (RC2.1) (RC2.3), Patrimonio Natural (RC3.1), (RC3.4); Industria y Servicios (RC11.4) y Paz Seguridad y Cohesión Social (RC14.1) (RC14.2) (RC14.3).

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como Agua y Recursos Hidricos (RC2.1) (RC2.3), Patrimonio Natural (RC3.4), Agricultura y Ganadería (RC5.2) (RC 5.3) , Industria y Servicios (RC11.4) Sistema financiero y actividad aseguradora (RC13.1) (RC13.2) (RC 13.3) (RC 13.4) y Paz, Seguridad, y Cohesion Social (RC14.1) (RC14.2) (RC14.3).

El *Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos* (RC5.2) tiene grado de entrada 12 y grado de salida 12 (**Figura 7**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de multiples ámbitos sectoriales como Agua y Recursos Hidricos (RC2.1) (RC2.2) (RC2.3), Patrimonio Natural (RC3.1), (RC3.4); Agricultura y Ganadería (RC 5.1); Industria y Servicios (RC11.4), Sistema financiero y actividad aseguradora (RC 13.3) (RC 13.4) y Paz Seguridad y Cohesión Social (RC14.1) (RC14.2) (RC14.3).

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como Agua y Recursos Hidricos (RC2.3), Patrimonio Natural (RC3.4), Agricultura y Ganadería (RC5.1) (RC 5.3) , Industria y Servicios (RC11.4) Sistema financiero y actividad aseguradora (RC13.1) (RC13.2) (RC 13.3) (RC 13.4) y Paz, Seguridad, y Cohesion Social (RC14.1) (RC14.2) (RC14.3).

El *Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones (RC5.3)* tiene grado de entrada 13 y grado de salida 9 (**Figura 8**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de multiples ámbitos sectoriales como Agua y Recursos Hidricos (RC2.1) (RC2.3), Patrimonio Natural (RC3.1), (RC3.3) (RC3.4); Forestal (RC4.4) (RC 4.5) ; Agricultura y Ganadería (RC 5.1) (RC 5.2) ; Ciudades (RC 7.2) ; Industria y Servicios (RC11.4), y Paz Seguridad y Cohesión Social (RC14.1) (RC14.3).

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como Patrimonio Natural (RC3.4), Industria y Servicios (RC11.4) Sistema financiero y actividad aseguradora (RC13.1) (RC13.2) (RC 13.3) (RC 13.4) y Paz, Seguridad, y Cohesion Social (RC14.1) (RC14.2) (RC14.3).

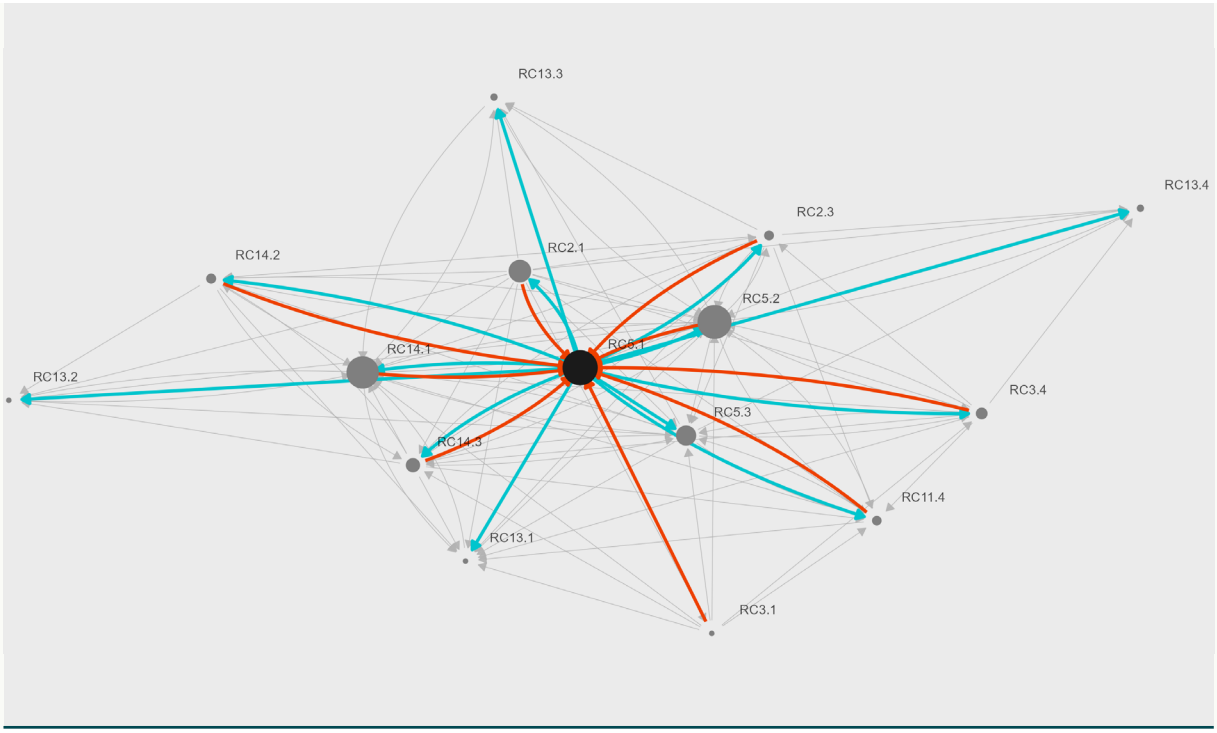


Figura 6. Grafo del Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

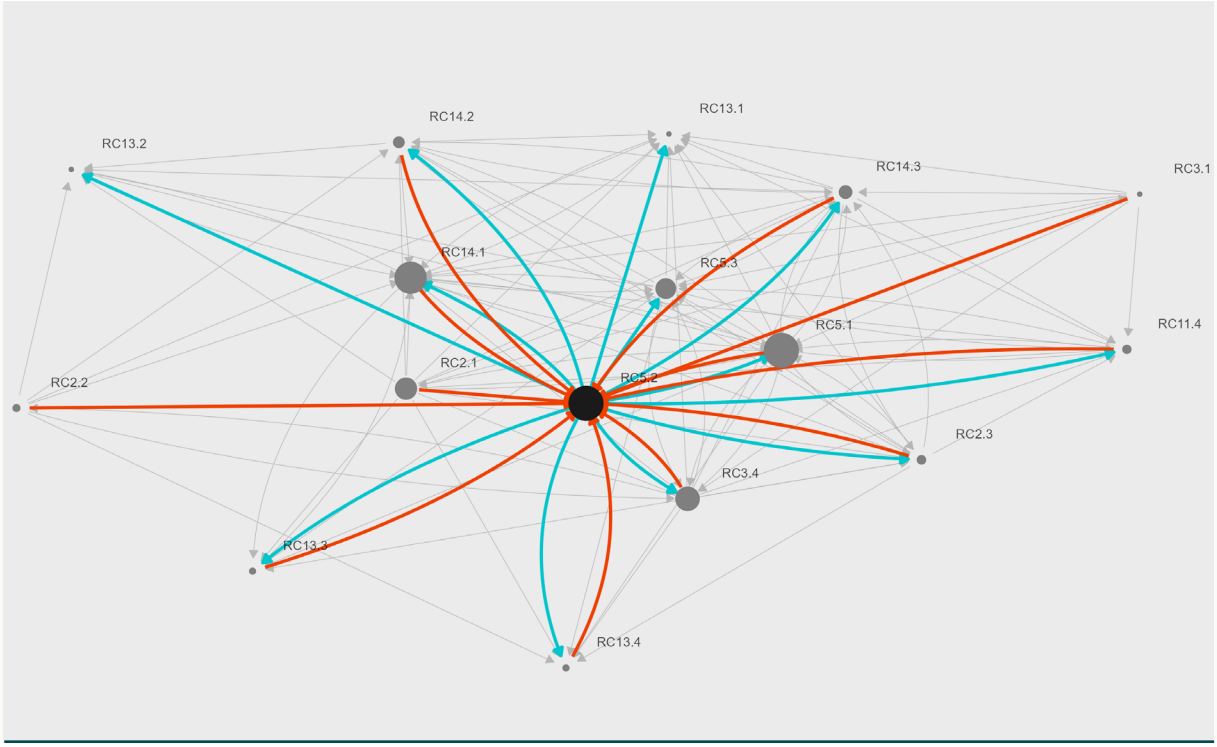


Figura 7. Grafo del Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

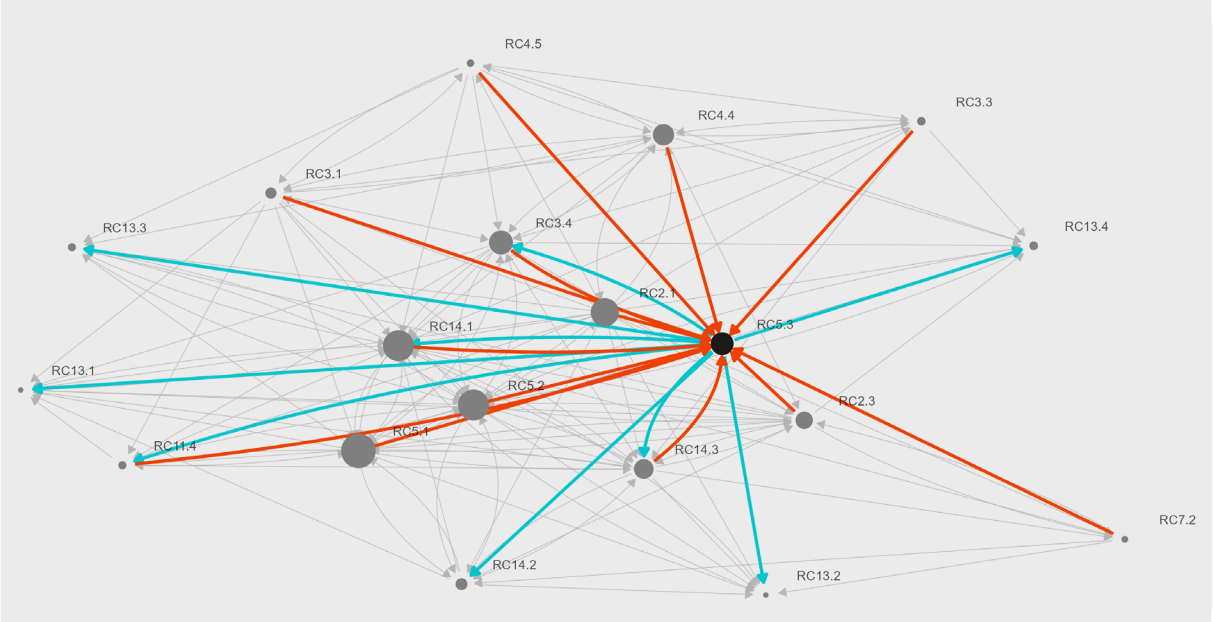


Figura 8. Grafo del Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito de la Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC5.1. Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua	Bajo ▼	Alto ▲	Alto ▲	Medio −
RC5.2. Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos	Alto ▲	Alto ▲	Alto ▲	Medio −
RC5.3. Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones	Alto ▲	Bajo ▼	Medio −	Medio −
RC5.4. Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o a los cambios en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Medio −

6. Caso de estudio

El caso de estudio **LIFE_eCOadapt50** ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

LIFE_eCOadapt50

Objeto

El objetivo principal del LIFE eCOadapt50 es promover una transformación en los territorios en los que se desarrolla para reducir su vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. El proyecto impulsa la inversión y la ejecución de acciones de adaptación al cambio climático a corto, medio y largo plazo, con la implicación, desde el inicio, de los agentes socioeconómicos de los territorios.

Descripción:

LIFE eCOadapt50 opera con un modelo holístico: es multisectorial y territorial, basado en co-creación socio-institucional, y sólido desde la perspectiva de manejo de datos y gestión del riesgo. Identifica peligros climáticos concretos, evalúa su impacto sobre el entorno ecológico y social, e impulsa una gobernanza eficaz para transformar la resiliencia del territorio y la economía local.

Aspectos destacables

Se han creado 19 “living labs” territoriales (espacios de gobernanza local) que reúnen a administraciones, agentes sectoriales, entidades científicas, financieras y sociales. Estos laboratorios facilitan la identificación de

Ámbito Territorial

- Cataluña.

Sector(es)/subsector

- Agricultura, ganadería, forestal, pesca, turismo y administración local de 19 territorios de Cataluña.

Entidad(es) del proyecto

- El proyecto está integrado por 25 socios públicos y privados. El promotor y coordinador es el Área de Acción Climática y Transición Energética de la Diputación de Barcelona.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

necesidades, diseño de soluciones, implementación de acciones y seguimiento conjunto. Se fortalece la gobernanza adaptativa con espacios permanentes y se movilizan fondos -más de 73 M € en inversiones complementarias públicas y privadas (seguros, banca ética...).

Escala

- Regional, 19 áreas de Cataluña (60 % de la superficie catalana).

Riesgo(s)

- Los riesgos que se han identificado en el territorio incluyen: la reducción cuantitativa y cualitativa del agua, el incremento de olas de calor, la mayor frecuencia de incendios, la erosión y la mortalidad de especies marinas, así como las pérdidas económicas para los sectores afectados.

Enlaces

- https://ecoadapt50.eu/es/

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

El sector primario en España es altamente heterogéneo y diverso, y su funcionamiento depende en gran medida de las condiciones agronómicas específicas de cada región, así como de la accesibilidad y disponibilidad de recursos clave como el agua. En el presente capítulo, se han identificado riesgos relevantes y claves para los subsectores agrario, ganadero, pesquero y de alimentación en general.

Durante el desarrollo del capítulo, así como en la aplicación del análisis multicriterio para la jerarquización de riesgos, se ha intentado considerar, en la medida de lo posible y según la disponibilidad de información, las diferentes tipologías de cultivo, los sistemas de producción, las prácticas de manejo y la variabilidad geográfica. Sin embargo, persisten ciertas limitaciones importantes. En particular, es fundamental disponer de datos más detallados y precisos que permitan establecer de forma más precisa las diferencias entre:

- Cultivos de secano y de regadío, que presentan distintas necesidades hídricas y vulnerabilidades frente a peligros climáticos como sequías.
- Cultivos anuales y leñosos, cuya respuesta a eventos extremos, plazos de adaptación y necesidades de gestión son muy diferentes.
- Sistemas ganaderos intensivos y extensivos, con implicaciones distintas en cuanto a su relación con el territorio, uso de recursos, emisiones y capacidad de adaptación.
- Actividades de pesca y acuicultura, que requieren caracterización específica de sus áreas de operación.

Esta información desagregada es esencial para desarrollar estrategias de adaptación adecuadas. Por otro lado, la limitada disponibilidad de estudios enfocados a regiones y cultivos específicos dificulta cuantificar el impacto del cambio climático. Sí que existen estudios para cultivos como el viñedo (Resco *et al.*, 2016) y el olivar (Moriondo *et al.*, 2013), así como trabajos en frutales (Rodríguez *et al.*, 2021; Egea *et al.*, 2022). El factor regional es clave para cualquier estudio de impacto en el sector agrario, debido a la dependencia del factor agroclimático para la producción alimentaria.

Para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo resulta clave aplicar estrategias integrales de adaptación y mitigación, ajustadas a las particularidades de cada territorio, pero enmarcadas dentro de una visión conjunta coherente. Esto permitirá evitar problemas de maladaptación, así como la pérdida de biodiversidad, entre otros. En España, tal como se ha comentado a lo largo del desarrollo del capítulo, la diversidad agroclimática y la especialización regional hacen que los efectos del cambio climático sobre el sector, desde sequías hasta fenómenos extremos y otros problemas como la salinización de suelos, varíen significativamente entre regiones y tipologías de producción. Por ello, es imprescindible adoptar enfoques territoriales específicos que aseguren la sostenibilidad de la producción alimentaria.

Además, es necesario mejorar y diversificar las metodologías de análisis, ampliar fuentes y datos utilizados, considerando aproximaciones más integrales y contrastándolas con diferentes agentes del sector. A pesar de la existencia de estudios que podrían contribuir a generar información más detallada y a vincular variables climáticas con posibles soluciones, todavía se observan carencias importantes en la disponibilidad, actualización y aplicación práctica de estos conocimientos. En este sentido, los estudios multiactor, especialmente aquellos que incorporan la perspectiva de las personas productoras, son fundamentales. No obstante, es igualmente crucial que estos estudios reflejen el grado de conexión con su implementación real en los territorios, garantizando así su viabilidad, eficacia y pertinencia en el contexto local (Ramírez *et al.*, 2025).

Solape con otros capítulos

Debido a la singularidad del sector primario, en el desarrollo de este estudio existen otros capítulos que complementan el análisis de la complejidad de los riesgos climáticos que lo afectan. De esta forma, por ejemplo, en el capítulo dedicado al agua, se contempla el sector agrario como uno de los más demandantes del recurso; e igualmente, el sector pesquero se aborda en los capítulos dedicados a costas y a biodiversidad y medio natural.

8. Referencias

- AEA Energy & Environment. (2007). Adaptation to climate change in the agricultural sector: Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development (AGRI-2006-G4-05). Universidad Politécnica de Madrid.
- AEMET. Agencia estatal de meteorología. (s.f.) *Resúmenes climatológicos*. Gobierno de España. https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes
- AgriAdapt (2019) Adaptación de sistemas agrarios. Adaptación de sistemas agrarios europeos al cambio climático. Resultados PROYECTO LIFE AgriAdapt CCA/DE/000072
- AGROSEGURO (2024). *Informe de siniestralidad 2024*.
- Alcon, F., Zabala, J. A., Martínez-García, V., Albaladejo, J. A., López-Becerra, E. I., de-Miguel, M. D., & Martínez-Paz, J. M. (2022). The social wellbeing of irrigation water. A demand-side integrated valuation in a Mediterranean agroecosystem. *Agricultural Water Management*, *262*, 107400. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107400
- Almagro, M., de Vente, J., Boix-Fayos, C., García-Franco, N., Melgares de Aguilar, J., González, D., Solé-Benet, A., & Martínez-Mena, M. (2016). Sustainable land management practices as providers of several ecosystem services under rainfed Mediterranean agroecosystems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *21*(7), 1029–1043. https://doi.org/10.1007/s11027-013-9535-2
- Almagro, M., López, J., Querejeta, J. I., & Martínez-Mena, M. (2009). Temperature dependence of soil CO2 efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, *41*(3), 594–605. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.12.021
- Amicarelli, V., & Bux, C. (2020). Food waste measurement toward a fair, healthy and environmental-friendly food system: A critical review. *British Food Journal*, *123*(8), 2907–2935. https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2020-0658
- AOP2 (2023) Informe socioeconómico del sector pesquero. Pesca España. https://pescaespana.org/wp-content/uploads/2024/04/SOCIOEC_PESCAESPANA_24.pdf
- APROMAR (2022) Informe La acuicultura en España. Asociación Empresarial de Acuicultura de España.
- Ara Begum, R., Lempert, E., Ali, E., Benjaminsen, T.A., Bernauer, T., Cramer, W., Cui, X., Mach, K., Nagy, G., Stenseth, N.C., Sukumar, R., & Wester, P. (2022). Point of Departure and Key Concepts (Chapter 1). In: IPCC 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K, Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., *et al.*, pp. 121-196 Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 10.1017/9781009325844.003.
- Aragão, G. M., López-López, L., Punzón, A., Guijarro, E., Esteban, A., García, E., González-Irusta, J. M., Polo, J., Vivas, M., & Hidalgo, M. (2022). The importance of regional differences in vulnerability to climate change for demersal fisheries. ICES Journal of Marine Science, 79(2), 506–518. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab134

- Arenas-Castro, S., Gonçalves, J. F., Moreno, M., & Villar, R. (2020). Projected climate changes are expected to decrease the suitability and production of olive varieties in southern Spain. *Science of The Total Environment*, *709*, 136161. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136161
- Barranco, L. M., Dimas, M., Jiménez, A., & Estrada, F. (2018). Nueva evaluación del impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España. *Revista Digital del Cedex*, *191*, Article 191.
- Beguería, S., Trullenque-Blanco, V., Vicente-Serrano, S.M. and González-Hidalgo, J.C. (2025). Aridity on the Rise: Spatial and Temporal Shifts in Climate Aridity in Spain (1961–2020). Int J Climatol, 45: e8775. https://doi.org/10.1002/joc.8775
- Betts, R. A., Haward, A. B., & Pearson, K. V. (Eds.). (2021). *The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report*. Prepared for the Climate Change Committee, London, UK. https://www.ukclimaterisk.org/independent-assessment-ccra3/technical-report/
- Blanco-Penedo, I., Velarde, A., Kipling, R. P., & Ruete, A. (2020). Modeling heat stress under organic dairy farming conditions in warm temperate climates within the Mediterranean basin. *Climatic Change*, *162*(3), 1269–1285. https://doi.org/10.1007/s10584-020-02818-y
- Borrelli, P., Matthews, F., Saggau, P., Manzaneda, A., Panagos, P.,Kaffas, K.,Alewell., C (2025) Unsustainably losing ground. *Nature Sustainability* 8, 986–989. https://doi.org/10.1038/s41893-025-01628-3
- Brewer, T. D., Andrew, N. L., Abbott, D., Detenamo, R., Faaola, E. N., Gounder, P. V., Lal, N., Lui, K., Ravuvu, A., Sapalojang, D., Sharp, M. K., Sulu, R. J., Suvulo, S., Tamate, J. M. M. M., Thow, A. M. & Wells, A. T. (2023). The role of trade in pacific food security and nutrition. Global Food Security, 36, 100670. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100670
- Calvo, E., Simó, R., Coma, R., Ribes, M., Pascual, J., Sabatés, A., Gili, J. M., & Pelejero, C. (2011). Effects of climate change on Mediterranean marine ecosystems: The case of the Catalan Sea. *Climate Research*, *50*(1), 1–29. https://doi.org/10.3354/cr01040
- Ciscar Martínez, J.-C., Feyen, L., Ibarreta Ruiz, D., Soria Ramírez, A., Dosio, A., Toreti, A., Ceglar, A., Fumagalli, D., Dentener, F., Lecerf, R., Zucchini, A., Panarello, L., Niemeyer, S., Pérez-Dominguez, I., Fellmann, T., Kitous, A., Després, J., Christodoulou, A., Demirel, H., Alfieri, L., Dottori, F., Vousdoukas, M., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Cammalleri, C., Marinho Ferreira Barbosa, P., Micale, F., Vogt, J., Barredo Cano, J. I., Caudullo, G., Mauri, A., de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Artés Vivancos, T., San-Miguel-Ayanz, J., Gosling, S., Zaherpour, J., De Roo, A., Bisselink, B., Bernhard, J., Bianchi, A., Rozsai, M., Szewczyk, W., & Mongelli, I. (2018). Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/93257
- CEDEX (2017). Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España (Informe final). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- CEOE (2023). Informe sobre el agua en España: situación actual, retos y oportunidades.
- Chust, G., Taboada, F. G., Fernandes-Salvador, J. A., Cheung, W., & Coll, M. (2025). Chapter 18—Climate change impacts on marine fish ecology and fisheries. In H. Cabral, M. Lepage, J. Lobry, & O. Le Pape (Eds.), *Ecology of Marine Fish* (pp. 355–371). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99036-3.00008-8
- Cubillo, A. M., Ferreira, J. G., Lencart-Silva, J., Taylor, N. G. H., Kennerley, A., Guilder, J., Kay, S., & Kamermans, P. (2021). Direct effects of climate change on productivity of European aquaculture. *Aquaculture International*, *29*(4), 1561–1590. https://doi.org/10.1007/s10499-021-00694-6

- Custodio, E. (2020). Results of seawater intrusion in Mediterranean Spain and the Spanish islands according to the SASMIE report. Boletín Geológico Y Minero, 131(4), 775–794. https://doi.org/10.21701/bolgeomin.131.4.015
- Davis, K.F., Downs, S., Gephart, J.A. (2020). Towards food supply chain resilience to environmental shocks. Nat. Food 2, 54–65. https://doi.org/10.1038/s43016-020- 00196-3.
- de Gálvez-Montañez, E., Trigo, M. M., Recio, M., & Picornell, A. (2024). Flowering seasonality and airborne pollen recent trends in Sierra de las Nieves, the southernmost National Park in continental Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, *359*, 110295. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110295
- de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Vivancos, T. A., San-Miguel-Ayanz, J., & Union, P. O. of the E. (2017). *Forest fire danger extremes in Europe under climate change: Variability and uncertainty* [Research Report]. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/13180
- Del Prado, A., Galán, E., Batalla, I., & Pardo, G. (2020). Impactos y adaptación al cambio climático en rumiantes. *Informacion Tecnica Economica Agraria*. https://doi.org/10.12706/itea.2020.038
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, *361*(6405), 916–919. https://doi.org/10.1126/science.aat3466
- Devot, A., Royer, L., Arvis B., Deryng, D., Caron Giauffret, E., Giraud, L., Ayral, V., and Rouillard, J. (2023) Research for AGRI Committee – The impact of extreme climate events on agriculture production in the EU, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels
- Duchenne-Moutien, R. A., & Neetoo, H. (2021). Climate Change and Emerging Food Safety Issues: A Review. *Journal of Food Protection*, *84*(11), 1884–1897. https://doi.org/10.4315/JFP-21-141
- Duffy, J. (2023). Climate Change as a Risk Factor for Food Insecurity in Spain. *Health and Human Rights*, *25*(2), 103–104.
- EFSA (2020). Climate change as a driver of emerging risks for food and feed safety, plant, animal health and nutritional quality. European Food Safety Authority (EFSA) https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.EN-1881
- Egea, J. A., Caro, M., García-Brunton, J., Gambín, J., Egea, J., & Ruiz, D. (2022). Agroclimatic Metrics for the Main Stone Fruit Producing Areas in Spain in Current and Future Climate Change Scenarios: Implications From an Adaptive Point of View. *Frontiers in Plant Science*, *13*. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.842628
- Eklund, L.G., Sibilia, A., Salvi, A., Antofie, T., Rodomonti, D., Salari, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z. and Corban, C., Towards a European wide vulnerability framework, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/353889, JRC118850.
- ENESA (2023) Memoria de ENESA. Principales indicadores del seguro agrario. Edita. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/enesa/090_publicaciones/memorias-de-actividades-de-enesa/documentos/memoria_enesa_indicadoresseguroagrario2023.pdf
- Erauskin-Extramiana, M., Alvarez, P., Arrizabalaga, H., Ibaibarriaga, L., Uriarte, A., Cotano, U., Santos, M., Ferrer, L., Cabré, A., Irigoien, X., & Chust, G. (2019a). Historical trends and future distribution of anchovy spawning in the Bay of Biscay. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, *159*, 169–182. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.07.007

- Erauskin-Extramiana, M., Arrizabalaga, H., Hobday, A. J., Cabré, A., Ibaibarriaga, L., Arregui, I., Murua, H., & Chust, G. (2019b). Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. *Global Change Biology*, *25*(6), 2043–2060. https://doi.org/10.1111/gcb.14630
- Espinosa-Tasón, J., Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., & Musolino, D. A. (2022). Socioeconomic impact of 2005–2008 drought in Andalusian agriculture. *Science of The Total Environment*, *826*, 154148. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154148
- European Environment Agency. (2024). *European climate risk assessment: Executive summary.* (Informe TH-AL-24-001-EN-N). Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2800/204249
- Fanzo, J. & Miachon, L. (2023). Harnessing the connectivity of climate change, food systems and diets: Taking action to improve human and planetary health. Anthropocene, 42, 100381. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2023.100381
- Fanzo, J.; Rose, A. (2025) Climate change and food systems interactions: Ensuring resilient and healthy diets", *Field Actions Science Reports*, Special Issue 27 , 52-56.
- FAO (2022). Soils for nutrition: state of the art. Rome. FAO. https://doi.org/10.4060/cc0900en
- FAO (2023). The Impact of Disasters on Agriculture and Food Security 2023 – Avoiding and reducing losses through investment in resilience. Rome. FAO
- Fernández-Giménez, M. E., E. Oteros-Rozas and F. Ravera (2019). Co-creando Conocimientos Para La Acción Con Mujeres Del Entorno Pastoralista En España. Cabezón de la Sal, Cantabria, España: Asociación Trashumancia y Naturaleza.
- Feyen, L., Ciscar, M. J. C., Gosling, S., Ibarreta, R. D., Soria, R. A., Dosio, A., Naumann, G., Russo, S., Formetta, G., Forzieri, G., Girardello, M., Spinoni, J., Mentaschi, L., Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Guenther, S., De, R. A., … Olariaga-Guardiola, M. (2020). *Climate change impacts and adaptation in Europe*. JRC Publications Repository. https://doi.org/10.2760/171121
- Fi-compass (2025). Insurance and Risk Management Tools for Agriculture in the EU. European Investment Bank.https://www.fi-compass.eu/library/market-analysis/ insurance-and-risk-management-tools-agriculture-eu.
- Fundación AON (2024) Barómetro de las catástrofes en España 2023. Observatorio de catástrofes.
- Fundación Entretantos (2025) Ganadería extensiva y cambio climático. Manual para la aplicación de una estrategia integrada de adaptación y mitigación en el sur de Europa. Editado por Fundación Entretantos. Valladolid.
- Galán, E., Llonch, P., Villagrá, A., Levit, H., Pinto, S., & Del Prado, A. (2018). A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PloS One*, *13*(11), e0206520. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206520
- García Diez, C. & Remiro Perlado, J. P. (2014) Impactos del Cambio Climático sobre la Acuicultura en España. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 38 pág.
- Garcia-Franco, N., Albaladejo, J., Almagro, M., & Martínez-Mena, M. (2015). Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, *153*, 66–75. https://doi.org/10.1016/j.still.2015.05.010

- García-León, D., Contreras, S., & Hunink, J. (2019). Comparison of meteorological and satellite-based drought indices as yield predictors of Spanish cereals. *Agricultural Water Management*, *213*, 388–396. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.030
- García-Tejero, I. F., Herencia-Galán, J. F., Cárceles Rodríguez, B., Calderón-Pavón, A., Aldana Navarro, J., Rubio-Casal, A. E., & Durán Zuazo, V. H. (2024). Integrating Deficit Irrigation Strategies and Soil-Management Systems in Almond Orchards for Resilient Agriculture. *Agronomy*, *14*(10). Scopus. https://doi.org/10.3390/agronomy14102288
- Gil, M., Gomez-Raya, L., Torres,O.; Cigarroa-Vazquez, F., Davila,S., Rauw, W. (2023) Heterophil/ lymphocyte response of local Spanish breeds of laying hens to cold stress, heat stress, and water restriction. *Journal of Thermal Biology* (113), 103542. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103542
- Gratsea, M., Varotsos, K. V., López-Nevado, J., López-Feria, S., & Giannakopoulos, C. (2022). Assessing the long-term impact of climate change on olive crops and olive fly in Andalusia, Spain, through climate indices and return period analysis. *Climate Services*, *28*, 100325. https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100325
- Hempel, S., Menz, C., Pinto, S., Galán, E., Janke, D., Estellés, F., Müschner-Siemens, T., Wang, X., Heinicke, J., Zhang, G., Amon, B., del Prado, A., & Amon, T. (2019). Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potential impacts. *Earth System Dynamics*, *10*(4), 859–884. https://doi.org/10.5194/esd-10-859-2019
- HLPE (2024). Strengthening urban and peri-urban food systems to achieve food security and nutrition in the context of urbanization and rural transformation. FAO, Rome, Italy. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/cf8cd142-cceb-4e81-8764-c8fbc291ce1b/content
- Hristov, J., Toreti, A., Perez Dominguez, I., Dentener, F., Fellmann, T., Elleby, C., Ceglar, A., Fumagalli, D., Niemeyer, S., Cerrani, I., Panarello, L. and Bratu, M. (2020). Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050, EUR 30078 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-10617-3, doi:10.2760/121115, JRC119632.
- Hueso González, P., Sillero Medina, J. A. ., Menjibar Romero, M., & Ruiz Sinoga, J. D. (2024). Estrategias de recuperación de cubierta vegetal y mejora de la calidad edáfica en ambientes mediterráneos degradados: SECCIÓN GENERAL. Geographicalia, (76), 171–176. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.20247611393
- Iglesias, E., Báez, K., & Diaz-Ambrona, C. H. (2016). Assessing drought risk in Mediterranean Dehesa grazing lands. *Agricultural Systems*, *149*, 65–74. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.07.017
- IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673
- IPCC (2019) Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. https://www.ipcc.ch/srccl/
- IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

- INE (2018). Encuesta sobre el uso del agua en el sector agrario. Año 2018.
- INE (2020). Censo Agrario 2020.
- Jenkins, K. (2013). Indirect economic losses of drought under future projections of climate change: A case study for Spain. *Natural Hazards*, *69*(3), 1967–1986. https://doi.org/10.1007/s11069-013-0788-6
- Lalanda, R., Olivares, P., Pajares, M. (2025). Adaptación sostenible al cambio climático en olivos. Fundación Global Nature.
- Llorente, M.; Marín, Leticia C.; Herrera, Pedro M.; Majadas, J.; Majadas, Hugo (2024). Pastorear en tiempos de cambio. Plan de Acción Estratégica para la adaptación de la ganadería extensiva al cambio climático. Documento de síntesis. Fundación Entretantos. Valladolid.
- Lorite, I. J., Cabezas-Luque, J. M., Arquero, O., Gabaldón-Leal, C., Santos, C., Rodríguez, A., Ruiz-Ramos, M., & Lovera, M. (2020). The role of phenology in the climate change impacts and adaptation strategies for tree crops: A case study on almond orchards in Southern Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, *294*, 108142. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108142
- Lorite, I., Cabezas, J., Ruiz-Ramos, M., de la Rosa, R., Soriano, M., León, L., Santos, C., & Gabaldón-Leal, C. (2022). Enhancing the sustainability of Mediterranean olive groves through adaptation measures to climate change using modelling and response surfaces. *Agricultural and Forest Meteorology*, *313*, 108742. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108742
- Lucia Martin, L., Smerald, A., Kiese, R., Klimiuk, T., Ludwig, P., Sanchéz-Benítez, A., Goessling, H., & Scheer, C. (2025). The vulnerability of European agricultural areas to anthesis heat stress increases with climate change. Environmental Research: *Food Systems*, *2*(2), 025002. https://doi.org/10.1088/2976-601X/adb03d
- Luján Soto, R., Martínez-Mena, M., Cuéllar Padilla, M., & de Vente, J. (2021). Restoring soil quality of woody agroecosystems in Mediterranean drylands through regenerative agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *306*, 107191. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107191
- Madejón, P., Fernández-Boy, E., Morales-Salmerón, L., Navarro-Fernández, C. M., Madejón, E., & Domínguez, M. T. (2023). Could conservation tillage increase the resistance to drought in Mediterranean faba bean crops? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *349*, 108449. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108449
- MAPA (2016) Impactos del cambio climático en los procesos de desertificación en España.
- MAPA (2021) Plan para la Igualdad de Género en el Sector Pesquero y Acuícola 2021-2027. Secretaría general técnica.
- MAPA (2023) Encuesta sobre superficie y rendimientos de cultivos. ESYRCE.
- MAPA (2023b) Encuesta económica de la acuicultura. Año 2023.
- MAPA (2024) Informe anual de la actividad de la flora pesquera española 2024 (datos 2022). Secretaría general de pesca.
- MAPA (2025) Actualización de la situación epidemiológica de la enfermedad hemorrágica epizoótica. Dirección General de Sanidad de la Producción Agroalimentaria y Bienestar Animal. SG Sanidad e Higiene Animal y Trazabilidad.

- MAPA (2025b). Diagnóstico de la mano de obra agraria con perspectiva de género. https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/desarrollo-rural/temas/igualdad-de-genero-y-desarrollo-sostenible-en-el-medio-rural/micrositio-mujeres-rurales/las-mujeres-en-el-medio-rural/diagnostico-mano-obra-agraria.pdf
- Martínez-Dalmau, J., Gutiérrez-Martín, C., Kahil, T., & Berbel, J. (2023). Impact of alternative water policies for drought adaptation in the Guadalquivir Mediterranean river basin, southern Spain. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *47*, 101444. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101444
- Maudos, J. y Salamanca, J. (2023). Observatorio sobre el sector agroalimentario español en el
- contexto europeo. Informe 2022. Informes 79. Almería, Cajamar Caja Rural.
- Miraglia, M., Marvin, H. J. P., Kleter, G. A., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., Cubadda, F., Croci, L., De Santis, B., Dekkers, S., Filippi, L., Hutjes, R. W. A., Noordam, M. Y., Pisante, M., Piva, G., Prandini, A., Toti, L., van den Born, G. J., & Vespermann, A. (2009). Climate change and food safety: An emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology*, *47*(5), 1009–1021. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.02.005
- Mirón, I. J., Linares, C., & Díaz, J. (2023). The influence of climate change on food production and food safety. *Environmental Research*, *216*, 114674. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114674
- MITECO (2025). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Avance GEI año 2024.
- MITECO (2018). Inundaciones y cambio climático. Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 105 pp.
- MITECO (2022). Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación en España.
- MITECO (2023). Usos del agua en España 2021/22. Noviembre 2023
- MITERD (2022). Orientaciones Estratégicas sobre Agua y Cambio. Dirección General del Agua.
- Mohr, S., Kunz, M., & Geyer, B. (2015). Hail potential in Europe based on a regional climate model hindcast. *Geophysical Research Letters*, *42*(24), 10,904-10,912. https://doi.org/10.1002/2015GL067118
- Moldero, D., López-Bernal, Á., Testi, L., Lorite, I. J., Fereres, E., & Orgaz, F. (2021). Long-term almond yield response to deficit irrigation. *Irrigation Science*, *39*(4), 409–420. https://doi.org/10.1007/s00271-021-00720-8
- Moriondo, M., Trombi, G., Ferrise, R., Brandani, G., Dibari, C., Ammann, C. M., Lippi, M. M., & Bindi, M. (2013). Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Global Ecology and Biogeography*, *22*(7), 818–833. https://doi.org/10.1111/geb.12061
- Motta, C., Naumann, G., Gomez, D., Formetta, G., & Feyen, L. (2025). Assessing the economic impact of droughts in Europe in a changing climate: A multi-sectoral analysis at regional scale. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *59*, 102296. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102296
- Naumann, G., Cammalleri, C., Mentaschi, L., & Feyen, L. (2021). Increased economic drought impacts in Europe with anthropogenic warming. *Nature Climate Change*, *11*(6), Article 6. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01044-3
- Nebot Colomer, E., Rivas Navarro, A., Fernández de Arcaya, U., Martin, L., & Albo Puigserver, M. (2025). VADAPES II: Adaptación y mitigación al cambio climático en el sector pesquero español. Herramientas para prevenir la maladaptación en pesquerías del Atlántico y del Mediterráneo. Centro Oceanográfico de Baleares (IEO-CSIC), con el apoyo de Fundación Biodiversidad, MITECO.

- Ojea, E., Ilosvay, X. E., Salgueiro-Otero, D., Rubio, I., Tidd, A. N., Caballero, S. V., Bueno-Pardo, J., Aguión, A., Barazzetta, F., & Ameneiro, J. (2023). Research priorities for seafood-dependent livelihoods under ocean climate change extreme events. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *61*, 101264. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101264
- Padin, X. A., Babarro, J. M. F., Otero, P., Gilcoto, M., Rellán, T., Suárez, L., Velo, A., & Peteiro, L. G. (2024). The declining availability of wild mussel seed for aquaculture in a coastal upwelling system. *Frontiers in Marine Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1375269
- Pardo, G., & del Prado, A. (2021a). A simple model for the effect of thermal stress on the productivity of small ruminants. *Livestock Science*, *251*, 104649. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104649
- Pardo, Z., Fernández-Fígares, I., Lachica, M., Lara, L., Nieto, R., & Seiquer, I. (2021b). Impact of Heat Stress on Meat Quality and Antioxidant Markers in Iberian Pigs. *Antioxidants*, *10*(12), Article 12. https://doi.org/10.3390/antiox10121911
- Peña-Gallardo, M., Vicente-Serrano, S. M., Domínguez-Castro, F., & Beguería, S. (2019). The impact of drought on the productivity of two rainfed crops in Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *19*(6), 1215–1234. https://doi.org/10.5194/nhess-19-1215-2019
- Pieralli, S., Arsov, S., Elleby, C., Pérez Domínguez, I., & Farkas, B. (2025). The Potential for Yield
- Pita, P., Fernández-Márquez, D., Antelo, M., Macho, G., & Villasante, S. (2019). Socioecological changes in data-poor S-fisheries: A hidden shellfisheries crisis in Galicia (NW Spain). *Marine Policy*, *101*, 208–224. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.09.018
- Plaza, J., Criado, M., Morales-Corts, M. R., Pérez-Sánchez, R., Gómez-Sánchez, M. Á., Vázquez-de-Aldana, B., Zabalgogeazcoa, I., & Palacios, C. (2024). Yield and nutritional quality of intercropped forages for organic production in a hot-summer Mediterranean oak grassland ecosystem. *Crop and Pasture Science*, *75*(1), NULL-NULL. https://doi.org/10.1071/CP23172
- Plaza-Bonilla, D., Arrúe, J. L., Cantero-Martínez, C., Fanlo, R., Iglesias, A., & Álvaro-Fuentes, J. (2015). Carbon management in dryland agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*(4), 1319–1334. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0326-x
- Punzón, A., Serrano, A., Sánchez, F., Velasco, F., Preciado, I., González-Irusta, J. M., & López-López, L. (2016). Response of a temperate demersal fish community to global warming. *Journal of Marine Systems*, *161*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.05.001
- Punzón, A., López-López, L., González-Irusta, J. M., Preciado, I., Hidalgo, M., Serrano, A., Tel, E., Somavilla, R., Polo, J., Blanco, M., Ruiz-Pico, S., Fernández-Zapico, O., Velasco, F., & Massuti, E. (2021). Tracking the effect of temperature in marine demersal fish communities. Ecological Indicators, 121, 107142. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107142
- Ramirez, P., Saralegui, P., Alonso, A. M., Baraza, E., Calvet-Mir, L., Cladera, J., Fullana, O., Quena, A., Santiago, L., Soto, D., Tello, E., & Guzmán, G. I. (2025). Vía Sabia Tendiendo puentes entre saberes para una mejor adaptación al cambio climático El conocimiento ecológico tradicional (CET) de las comunidades pesqueras y su vínculo con el cambio climático. Edita: Alimentta. https://alimentta.com/wp-content/uploads/Alimentta_ViaSabia_CETagro_2025.pdf
- Ramón-Moragues, A., Carulla, P., Mínguez, C., Villagrá, A., & Estellés, F. (2021). Dairy Cows Activity under Heat Stress: A Case Study in Spain. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, *11*(8), 2305. https://doi.org/10.3390/ani11082305

- Reisinger, A., M. Garschagen, K.J. Mach, M. Pathak, E. Poloczanska, M. van Aalst, A.C. Ruane, M. Hoden, M. Hurlber, K. Mintenbeck, R. Pedace, M. Rojas Corradi, D. Viner, C. Vera, S. Kreibiehl, B O'Neill, H.-O. Pörtner, J. Sillmann, R. Jones, and R. Ranasinghe, (2020): The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions: Guidance for IPCC Authors. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://pubs.giss.nasa.gov/abs/re03100n.html
- Renaudeau, D., Gourdine, J. L., & St-Pierre, N. R. (2011). A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, *89*(7), 2220–2230. https://doi.org/10.2527/jas.2010-3329
- Renaudeau, D., & Dourmad, J. Y. (2022). Review: Future consequences of climate change for European Union pig production. *Animal*, *16*, 100372. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100372
- Resco, P., Iglesias, A., Bardají, I., & Sotés, V. (2016). Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain. *Regional Environmental Change*, *16*(4), 979–993. https://doi.org/10.1007/s10113-015-0811-4
- Resco, P. (2022). Empieza la cuenta atrás. Impactos del cambio climático en la agricultura española. Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos (COAG)
- Rivera-Ferre, M. g., López-i-Gelats, F., Howden, M., Smith, P., Morton, J. f., & Herrero, M. (2016). Re-framing the climate change debate in the livestock sector: Mitigation and adaptation options. *WIREs Climate Change*, *7*(6), 869–892. https://doi.org/10.1002/wcc.421
- Robinet, C., & Roques, A. (2010). Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology*, *5*(2), 132–142. https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2010.00196.x
- Rodrigo-Comino, J., Senciales-González, J. M., Yu, Y., Salvati, L., Giménez-Morera, A., & Cerdà, A. (2021). Long-term changes in rainfed olive production, rainfall and farmer's income in Bailén (Jaén, Spain). *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, *6*(2), 58. https://doi.org/10.1007/s41207-021-00268-1
- Rodríguez, A., Pérez-López, D., Centeno, A., & Ruiz-Ramos, M. (2021). Viability of temperate fruit tree varieties in Spain under climate change according to chilling accumulation. *Agricultural Systems*, *186*, 102961. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102961
- Rodríguez-Berbel, N., Soria, R., Ortega, R., Lucas-Borja, M.E., Miralles, I. (2022). Agricultural Land Degradation in Spain. In: Pereira, P., Muñoz-Rojas, M., Bogunovic, I., Zhao, W. (eds) Impact of Agriculture on Soil Degradation II. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 121. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/698_2022_924
- Rodríguez Sousa, A. A., Barandica, J. M., Aguilera, P. A., & Rescia, A. J. (2020). Examining Potential Environmental Consequences of Climate Change and Other Driving Forces on the Sustainability of Spanish Olive Groves under a Socio-Ecological Approach. *Agriculture*, *10*(11), Article 11. https://doi.org/10.3390/agriculture10110509
- Rosa, R., Marques, A., & Nunes, M. L. (2012). Impact of climate change in Mediterranean aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, *4*(3), 163–177. https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01071.x
- Rosenzweig, C., A. Iglesias, X. Yang, *et al.* (2001) Climate Change and Extreme Weather Events; Implications for Food Production, Plant Diseases, and Pests. *Global Change and Human Health* 2, 90–104. https://doi.org/10.1023/A:1015086831467

- Rossi, L., Wens, M., De, M. H., Cotti, D., Sabino, S. A.-S., Toreti, A., Maetens, W., Masante, D., Van, L. A., Hagenlocher, M., Rudari, R., Naumann, G., Meroni, M., Avanzi, F., Isabellon, M., & Barbosa, P. (2023, October 10). *European Drought Risk Atlas*. JRC Publications Repository. https://doi.org/10.2760/608737
- Rubio, I., Hileman, J., & Ojea, E. (2021). Social connectivity and adaptive capacity strategies in large-scale fisheries. *Ecology and Society*, *26*(2). https://doi.org/10.5751/ES-12395-260242
- Ruiz-Díaz, R., Liu, X., Aguión, A., Macho, G., deCastro, M., Gómez-Gesteira, M., & Ojea, E. (2020). Social-ecological vulnerability to climate change in small-scale fisheries managed under spatial property rights systems. *Marine Policy*, *121*, 104192. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104192
- Sabatés, A., Martín, P., Lloret, J., & Raya, V. (2006). Sea warming and fish distribution: The case of the small pelagic fish, Sardinella aurita, in the western Mediterranean. *Global Change Biology*, *12*(11), 2209–2219. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01246.x
- Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras) (2020) Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Sanz-Martín, M., Hidalgo, M., Puerta, P., Molinos, J. G., Zamanillo, M., Brito-Morales, I., González-Irusta, J. M., Esteban, A., Punzón, A., García-Rodríguez, E., Vivas, M., & López-López, L. (2024). Climate velocity drives unexpected southward patterns of species shifts in the Western Mediterranean Sea. *Ecological Indicators*, *160*, 111741. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111741
- Sillero-Medina, J. A., Galacho-Jimenez, F. B., Molina, J., & Ruiz-Sinoga, J. D. (2024). Analysis of the dynamics of the land use changes in the Mediterranean region of southern Spain and its relationship with water availability. *Geo: Geography and Environment*, *11*(2), e00161. https://doi.org/10.1002/geo2.161
- Singh A. (2021). Soil salinization management for sustainable development: A review. . *Journal of environmental management*, *277*, 111383. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111383
- Taboada, F. G., Chust, G., Santos Mocoroa, M., Aldanondo, N., Fontán, A., Cotano, U., Álvarez, P., Erauskin-Extramiana, M., Irigoien, X., Fernandes-Salvador, J. A., Boyra, G., Uriarte, A., & Ibaibarriaga, L. (2024). Shrinking body size of European anchovy in the Bay of Biscay. *Global Change Biology*, *30*(1), e17047. https://doi.org/10.1111/gcb.17047
- Tchonkouang, R. D., Onyeaka, H., & Nkoutchou, H. (2024). Assessing the vulnerability of food supply chains to climate change-induced disruptions. *Science of The Total Environment*, *920*, 171047. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171047
- Thomasz, E., Pérez-Franco, I., & García-García, A. (2020). The Economic Impact of Climate Risk on Extensive Livestock: The Case of Lamb Production in Extremadura, Spain. Sustainability, 12(18), 7254. https://doi.org/10.3390/su12187254
- Thornton, P., Nelson, G., Mayberry, D., & Herrero, M. (2021). Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. Global change biology, 27(22), 5762–5772. https://doi.org/10.1111/gcb.15825
- UNCCD (2022). Los efectos diferenciados de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía en las mujeres y los hombres. https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-05/SDM_SPANISH_webfile.pdf
- UPA (2018). Manual de adaptación frente al cambio climático. Cultivos Herbáceos de Secano. Programa Infodapta-Agri.

- UPA (2018). Manual de adaptación frente al cambio climático. Cultivos leñoso. Programa Infodapta-Agri.
- UPA (2018). Manual de adaptación frente al cambio climático. Ganadería. Programa Infodapta-Agri.
- UPA (2018). Manual de adaptación frente al cambio climático. Cultivos Herbáceos de regadío. Programa Infodapta-Agri.
- VADAPES II (2024). Adaptation and mitigation to climate change in the Spanish fisheries sector: tools to prevent maladaptation in Atlantic and Mediterranean fisheries (VADAPES II)
- Valle-García, Á., Gutiérrez-Martín, C., & Montilla-López, N. M. (2024). Water Pricing and Quotas: A Quantitative Analysis from a Private and Social Perspective. *Water Resources Management*, *38*(11), 4287–4306. https://doi.org/10.1007/s11269-024-03865-1
- Vicente-Serrano, S. M. (2006). Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910–2000). *Hydrological Sciences Journal*, *51*(1), 83–97.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate, 23(7), 1696-1718. https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1
- Vila-Traver, J., Aguilera, E., Infante-Amate, J., & González de Molina, M. (2021). Climate change and industrialization as the main drivers of Spanish agriculture water stress. *Science of The Total Environment*, *760*, 143399. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143399
- Yin, X., and G. Leng. (2022). A Review of the Effects of Climate Extremes on Agriculture Production." In Climate Risk and Sustainable Water Management, edited by Q. Tang and G. Leng, 198–219. Cambridge University Press.

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Costas y medio marino

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autores: Alexandra Toimil Silva (IH Cantabria), Iñigo Losada Rodríguez (IH Cantabria)

Contribuyentes: Samuel Sainz Villegas (IH Cantabria)

Agradecimientos: Diego Kersting (IATS-CSIC)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Toimil, A. y Losada, I. J. (2025) Costas y medio marino. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 712

2. Introducción / pág. 714

3. Riesgos relevantes / pág. 717

4. Riesgos clave / pág. 732

4.1. RC6.1. Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo. / pág. 733

4.2. RC6.2. Riesgos de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos. / pág. 746

4.3. RC6.3. Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos. / pág. 760

4.4. RC6.4. Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano / pág. 773

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 785

6. Caso de estudio / pág. 788

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 790

8. Referencias / pág. 793

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Costas y Medio Marino** de la **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos com-

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

2 Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

puestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones,** las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. **Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

El presente informe evalúa los principales riesgos climáticos a los que se ve sometido el sector Costas y Medio Marino en España, centrándose en los impactos del aumento del nivel medio del mar relativo, los eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento, y el calentamiento y acidificación del océano. Se analizan riesgos como la pérdida de superficie costera emergida, la salinización de acuíferos y suelos, las inundaciones episódicas, la pérdida de operatividad en infraestructuras portuarias y de protección, la pérdida de hábitats y biodiversidad costera y marina, y la proliferación de especies invasoras y blooms algales nocivos[3]. Estos riesgos se abordan en términos de peligros climáticos, exposición y vulnerabilidad, atendiendo a consecuencias de diversa índole y diferentes escalas temporales.

España cuenta con más de 8.000 km de costa, incluyendo la península ibérica, los archipiélagos balear y canario, y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla en el norte de África (Instituto Geográfico Nacional). Este litoral alberga una gran diversidad de tipos de costa, desde playas arenosas y acantilados hasta marismas, estuarios, deltas y sistemas dunares (Losada *et al.*, 2014). Más del 40 % de la población reside en zonas costeras, muchas de ellas densamente urbanizadas, con elevada dependencia de los ecosistemas marinos y costeros (MAPA, 2020). El litoral español alberga 27 puertos de interés general y más de 380 puertos autonómicos, que concentran el 80 % del comercio exterior por volumen (Puertos del Estado, 2023). A nivel económico, el turismo costero y marino representa una parte fundamental del PIB nacional, contribuyendo con hasta un 13,4 % y una proporción similar del empleo (INE, 2023). Además, cerca del 30 % del suelo agrícola de regadío se localiza en llanuras litorales vulnerables a la salinización y la pérdida de suelo fértil (MAPA, 2023). Las costas españolas también concentran morfologías singulares, como el delta del Ebro, y ecosistemas de alto valor ecológico como las praderas de *Posidonia oceanica*, cuya función protectora y climática es crítica (Liquete *et al.,* 2013).

Las comunidades autónomas costeras españolas presentan gran heterogeneidad en cuanto a configuración geomorfológica, usos del suelo e infraestructuras. Cataluña, la Comunidad Valenciana y Andalucía oriental se caracterizan por tener litorales densamente urbanizados y con importantes concentraciones turísticas e infraestructuras portuarias y agrícolas, muchas de ellas en llanuras deltaicas altamente expuestas a la inundación costera y la intrusión salina (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008). En el norte, Galicia, el Principado de Asturias, Cantabria y el País Vasco cuentan con costas abruptas que albergan playas encajadas y estuarios, así como infraestructuras industriales,

[3] Floraciones masivas de algas nocivas.

logísticas y energéticas, incluyendo refinerías, centrales térmicas y nodos de transporte marítimo (Bonachea *et al.,* 2024). El litoral de las Islas Baleares y Canarias presenta una alta dependencia del turismo costero y concentra infraestructuras críticas como puertos, aeropuertos y plantas desaladoras y energéticas (Escudero-Gómez *et al.,* 2022; Cruz-Pérez *et al.,* 2022). Andalucía occidental, donde se encuentran el estuario del Guadalquivir y Doñana, presenta una coexistencia entre ecosistemas de alto valor ecológico y usos agrícolas intensivos, una combinación que plantea tensiones de compatibilidad no solo frente a los impactos del cambio climático (Couto *et al.,* 2024), sino también debido a presiones subyacentes y condicionantes sistémicos de gran relevancia. En todas estas regiones, la concentración de población, infraestructuras y actividad económica en la franja costera actual, junto con su tendencia de crecimiento (Neumann *et al.,* 2015; Reimann *et al.,* 2018), amplificará los riesgos futuros.

Los impactos climáticos en el sector Costas y Medio Marino generan impactos en cascada que afectan transversalmente a sectores estratégicos. En el ámbito de la paz, seguridad y cohesión social, la degradación de territorios habitables y la pérdida de medios de vida tradicionales inducen desplazamientos forzados, tensiones por el uso del suelo y conflictos sociales, como ya se ha observado en comunidades pesqueras del delta del Mekong o en poblaciones costeras del Sahel occidental, donde el retroceso del litoral y la salinización de los suelos han provocado migraciones internas y disputas por el acceso a tierras más seguras (IPCC, 2022). Estos procesos, descritos por Adger *et al.,* (2022), tienden a agravarse si los territorios que reciben población desplazada no disponen de los recursos, infraestructuras o marcos institucionales necesarios para facilitar una integración adecuada. En el sector salud, los eventos extremos costeros pueden producir impactos directos sobre la población, incluyendo la pérdida de vidas humanas, lesiones físicas, así como efectos inmediatos sobre la salud mental (Yenew *et al.,* 2025). Además, los daños sobre infraestructuras sanitarias, la pérdida de acceso a agua potable por intrusión salina y el aumento de enfermedades infecciosas y crónicas asociadas a condiciones de insalubridad y humedad tras episodios de inundación afectan de forma sostenida tanto la salud física como mental de las poblaciones costeras (Haine *et al.,* 2006). En España, las inundaciones costeras figuran entre los riesgos naturales con mayor impacto en salud pública: el Plan Nacional de Salud y Medio Ambiente (MITECO, 2022a) destaca que los efectos sobre la salud mental, como el estrés postraumático y la ansiedad, son frecuentes tras eventos como las DANAs en el litoral mediterráneo. Simultáneamente, el sector del urbanismo se enfrenta al colapso funcional de redes viarias, edificaciones y equipamientos urbanos, lo que obstaculiza el acceso a servicios básicos y complica la movilidad y resiliencia urbana (Ridha *et al.,* 2022). En cuanto al patrimonio, la destrucción de elementos culturales compromete la memoria colectiva y la diversidad cultural (Pörtner *et al.,* 2022).

El turismo costero, particularmente en regiones dependientes del modelo de sol y playa, sufre una pérdida de atractivo y viabilidad económica ante la degradación de playas, dunas y humedales, y

por la interrupción del tráfico portuario y de cruceros (Arabadzhyan *et al.,* 2021). Según el Observatorio de la Sostenibilidad (2023), más del 65 % de los municipios turísticos costeros en España están expuestos a riesgos asociados a la erosión o la inundación, lo que representa una amenaza directa al modelo económico del litoral. A su vez, la agricultura y la ganadería costeras enfrentan la pérdida de suelos fértiles, la salinización de acuíferos y la destrucción de infraestructuras (Gopalakrishnan *et al.,* 2019), reduciendo la seguridad alimentaria. En el litoral andaluz y levantino, se han identificado más de 40.000 hectáreas agrícolas vulnerables a intrusión salina y anegamiento, especialmente en cultivos intensivos próximos a marismas o al Mar Menor (MITECO, 2020a). En España, el sector industrial, energético y de servicios pueden verse comprometidos por el anegamiento de instalaciones, la alteración de cadenas de suministro y la pérdida de conectividad crítica. Esto es especialmente relevante en infraestructuras costeras estratégicas como los puertos —por ejemplo, Algeciras, Valencia, Barcelona o Bilbao— que manejan más del 60 % del tráfico marítimo nacional. Su disfunción podría elevar costes logísticos y productivos, afectar el abastecimiento de bienes esenciales y, en casos extremos, repercutir en rutas comerciales internacionales clave (Becker *et al.,* 2018). Por último, la pérdida de superficie costera emergida y la erosión acelerada afectan gravemente al patrimonio natural, provocando la degradación de hábitats como marismas y praderas marinas, disminuyendo la biodiversidad y comprometiendo servicios ecosistémicos esenciales como la protección frente a tormentas o la regulación climática (Roy *et al.,* 2023). A ello se suman otros peligros climáticos que afectan al medio marino, como el aumento de la temperatura del agua, la acidificación oceánica o la disminución del oxígeno disuelto, que alteran los ecosistemas marinos y costeros, reducen su resiliencia y agravan la pérdida de biodiversidad. Los riesgos costeros actúan como catalizadores de riesgos sistémicos intersectoriales, cuya gestión requiere respuestas integradas y coordinadas en distintos niveles de gobernanza. Estos riesgos afectan no solo a las infraestructuras costeras, sino también al transporte marítimo, la pesca y la acuicultura, y generan repercusiones sustanciales en sectores como el financiero y asegurador, dada su exposición a pérdidas acumuladas, interrupciones operativas y desplazamientos de actividad económica.

3. Riesgos relevantes

Los riesgos relevantes sobre el sector Costas y Medio Marino son aquellos con alto potencial de generar impactos sobre los sistemas físicos, ecológicos y socioeconómicos tanto en el litoral como en el medio marino, afectando negativamente su integridad, el funcionamiento de infraestructuras críticas, la provisión de servicios ecosistémicos esenciales (p. ej., la protección frente a inundaciones, la pesca o el turismo), así como el bienestar y la seguridad de la población costeras. Estos riesgos son el resultado de la interacción entre peligros climáticos, los elementos expuestos y su nivel de vulnerabilidad, y factores que condicionan su capacidad de respuesta (IPCC, 2022).

El **peligro** crónico más relevante en el sector es el aumento del nivel medio del mar relativo, que combina el ascenso del nivel medio del mar debido al cambio climático con procesos locales no climáticos como la subsidencia del terreno[4], provocada por la compactación de sedimentos, la sobreexplotación de acuíferos o cargas excesivas sobre el suelo (Oelsmann *et al.,* 2024). Este aumento del nivel medio del mar sostenido a largo plazo produce **impactos crónicos o acumulativos**, como la pérdida de superficie emergida por inundación permanente, la regresión del litoral por erosión progresiva, la salinización de acuíferos y suelos agrícolas, o la degradación de hábitats costeros de elevado valor ecológico, como playas, sistemas dunares, marismas, humedales, o deltas (Nicholls & Cazenave, 2010; Cazenave & Le Cozannet, 2014). Además de este peligro, destacan otros crónicos con especial incidencia sobre el medio marino y costero. El aumento de la temperatura superficial del mar intensifica la estratificación de la columna de agua y reduce la mezcla vertical, lo que disminuye la disponibilidad de nutrientes y altera la cantidad y la calidad de la producción primaria. A su vez, esta elevación de la temperatura altera la distribución y fenología de especies marinas, favorece la expansión de especies invasoras y reduce la resiliencia de hábitats vulnerables. La acidificación oceánica, resultado del mayor contenido de CO_2 en la atmósfera, disminuye el pH del agua y debilita organismos calcificantes como moluscos y corales. En el caso de las fanerógamas marinas, no actúa por calcificación, sino a través de cambios en la química del carbono y del sedimento, con implicaciones para su productividad, epifitismo y reproducción. Ambos procesos generan efectos en cascada sobre redes tróficas, biodiversidad y servicios ecosistémicos (Wong *et al.,* 2014; Cooley *et al.,* 2022).

A estos impactos crónicos se suman los **impactos agudos o episódicos**, asociados a la intensificación de eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento. Estos episodios generan elevaciones

[4] Descenso vertical de la superficie del suelo como resultado de la compactación de materiales del subsuelo, que puede estar inducida por causas naturales o por actividades humanas.

transitorias del nivel del mar en costa (resultado de la interacción entre marea astronómica, marea meteorológica, oleaje y viento intenso) que pueden superar las defensas existentes y provocar inundaciones, daños estructurales, colapsos funcionales en infraestructuras críticas, pérdida de ecosistemas y afectaciones directas a la población (Collins *et al.,* 2019). Los puertos y las obras de protección costera pueden sufrir impactos sustanciales como pérdida de calado por sedimentación, pérdida de operatividad por rebase, agitación o viento intenso, inundación y daños estructurales por oleajes superiores a los previstos en el diseño. Estas disrupciones afectan no sólo a las operaciones portuarias (Izaguirre *et al.,* 2021), sino también a las cadenas logísticas e intersectoriales vinculadas (Becker *et al.,* 2018). A diferencia de los impactos crónicos, que son acumulativos y progresivos en el tiempo, los impactos agudos se manifiestan de forma puntual, pero pueden desencadenar consecuencias severas o incluso irreversibles cuando ocurren con mayor frecuencia y el tiempo de recuperación entre eventos se reduce. Estos impactos varían geográficamente y a lo largo del tiempo en función de las trayectorias socioeconómicas compartidas[5], la ocupación del territorio, el nivel de implementación de las medidas de adaptación y la gobernanza del riesgo a escala local, regional y nacional (O'Neill *et al.,* 2022).

[5] Las SSP (del inglés, *Shared Socioeconomic Pathways*) son un conjunto de cinco scenarios narrativos y cuantitativos desarrollados por la comunidad científica internacional para explorar las interacciones entre desarrollo socioeconómico y cambio climático. Cada uno representa un futuro alternativo coherente y plausible del mundo durante el siglo XXI, sin intervenciones climáticas explícitas (mitigación o adaptación). Se utilizan como base para combinarlas con distintas políticas climáticas y generar escenarios conjuntos (SSP-RCP o SSP-GHG). Esto permite proyectar trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero futuras bajo diferentes contextos socioeconómicos.

A continuación, la Tabla 1 describe las diferencias entre los impactos crónicos o acumulativos y agudos o episódicos y proporciona algunos ejemplos del sector Costas y Medio Marino.

Tabla 1. Tipos de impacto, características y ejemplos del sector Costas y Medio Marino.

Tipo de impacto	Definición	Características principales	Ejemplos en Costas y Medio Marino
Crónicos o acumulativos	Son aquellos que se desarrollan de forma gradual y sostenida en el tiempo, debido a la exposición prolongada a presiones, cuyo efecto se acumula progresivamente.	• Evolución lenta y continua. • Difíciles de detectar en etapas tempranas. • Efectos acumulativos y muchas veces irreversibles. • Requieren monitorización a largo plazo.	• Aumento del nivel medio del mar relativo. • Erosión costera de largo plazo. • Acidificación del océano. • Pérdida de biodiversidad marina.
Agudos o episódicos	Son aquellos que se manifiestan de forma repentina y con alta intensidad durante un evento concreto, generando daños inmediatos y visibles.	• Ocurren en el corto plazo. • Alta intensidad y visibilidad. • Asociados a eventos extremos meteorológicos. • Requieren respuestas rápidas e implementación de medidas de emergencia.	• Inundación costera por eventos extremos de oleaje y nivel del mar. • Daños en infraestructuras por eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento. • Mortalidad masiva de especies por olas de calor marinas.

La **exposición** en el sector hace referencia al conjunto de elementos, tanto humanos como naturales, que se encuentran situados en zonas susceptibles de experimentar impactos derivados de peligros como el aumento del nivel medio del mar relativo, la intensificación y mayor frecuencia de eventos extremos o el calentamiento y la acidificación del océano (IPCC, 2022). Desde una perspectiva socioeconómica, uno de los principales elementos expuestos es la población, especialmente en áreas de baja elevación, alta densidad urbana o carente de infraestructuras de protección. Junto a ella, el capital construido (p. ej., viviendas, instalaciones industriales, infraestructuras urbanas o turísticas) presenta una alta vulnerabilidad cuando está ubicado en primera línea de costa (Vousdoukas *et al.*,

2018). Asimismo, la actividad económica costera, que en España representa un porcentaje significativo del PIB regional en muchas comunidades autónomas, se ve comprometida en sectores clave como la industria portuaria y logística, el turismo litoral, la pesca y la acuicultura, y la agricultura de regadío en zonas deltaicas o llanuras aluviales (Suárez de Vivero & Rodríguez-Mateos, 2005; de Andrés *et al.,* 2017). Por ejemplo, en 2023, la pesca marítima en aguas nacionales españolas generó un Valor Añadido Bruto de aproximadamente 953 millones de euros y un Valor Añadido Neto de unos 850 millones de euros, lo que pone de manifiesto su peso económico dentro del modelo productivo costero español (MAPA y MITECO, 2023). Las infraestructuras críticas como redes de transporte, energía, saneamiento o abastecimiento también se sitúan frecuentemente en áreas costeras por razones funcionales y pueden sufrir interrupciones relevantes ante eventos extremos (Barrios-Crespo *et al.,* 2023; Nirandjan *et al.,* 2024). Otros componentes particularmente sensibles al aumento del nivel del mar relativo y a los eventos extremos asociados son: los acuíferos costeros (fundamentales para el abastecimiento urbano o agrícola, por la intrusión salina y la elevación del nivel freático); los servicios ecosistémicos que proveen protección natural frente a los impactos de erosión e inundación (Gracia *et al.,* 2018; Toimil *et al.,* 2023a); y las infraestructuras portuarias (Hanson *et al.,* 2011; Izaguirre *et al.,* 2021), incluidas terminales, equipamiento y operaciones logísticas y de transporte, cuya localización estratégica las hace especialmente expuestas a la agitación, el rebase, la inundación y la pérdida de calado. En este conjunto de elementos expuestos también se incluyen bienes e inversiones públicas y privadas de gran valor, como desarrollos inmobiliarios, industrias costeras o equipamientos estratégicos, que, ante el aumento del riesgo, requerirán movilizar recursos significativos para su protección, traslado o adaptación.

En lo relativo a los elementos naturales, la exposición se concentra en los hábitats y especies marinas y costeras, cuya distribución espacial y supervivencia dependen críticamente de factores físico-químicos como la temperatura, la salinidad, el pH, el oxígeno disuelto y la dinámica sedimentaria (Rocha *et al.,* 2015). Ecosistemas como las praderas de fanerógamas marinas (como las de la especie *Posidonia oceanica*, marismas, estuarios, humedales, fondos coralígenos o bosques de macroalgas albergan una elevada biodiversidad y desempeñan funciones esenciales en la provisión de servicios ecosistémicos (Barbier *et al.,* 2011; Liquete *et al.,* 2013). Su localización en zonas de interacción tierra-mar los convierte en receptores directos de múltiples presiones derivadas del cambio climático, como la intrusión salina, la pérdida de superficie costera emergida o la degradación por eventos extremos (Hodapp *et al.,* 2023). En conjunto, la configuración territorial del litoral, la concentración de usos económicos y la singularidad ecológica de los ecosistemas costeros explican por qué estos son, simultáneamente, de los espacios más productivos y también más expuestos al riesgo climático (Pörtner *et al.,* 2022).

La **vulnerabilidad** en el contexto del riesgo de Costas y Medio Marino se refiere al grado en que los sistemas expuestos (que pueden ser naturales o antrópicos) pueden verse afectados negativamente por peligros climáticos, y se configura a partir de múltiples factores interrelacionados

(IPCC, 2022). Desde una perspectiva física, la vulnerabilidad viene determinada por características intrínsecas del medio costero, como la capacidad de respuesta ante la tasa de aumento del nivel medio del mar relativo. Si bien este aumento es parte de la peligrosidad, su velocidad condiciona directamente la vulnerabilidad, ya que limita el tiempo de adaptación de los sistemas físicos, ecológicos y sociales, y puede superar los umbrales naturales de resiliencia de playas, marismas o sistemas urbanos bajos, incrementando así su susceptibilidad al daño. Este ascenso relativo resulta de la combinación del aumento eustático del nivel del mar[6] y procesos locales como la subsidencia o hundimiento del terreno, un fenómeno significativo en áreas como el delta del Ebro, la Albufera de Valencia o la costa gaditana (Alvarado-Aguilar *et al.,* 2012; Bergillos *et al.,* 2016). También influyen el tipo de costa, la pendiente del frente costero, que condiciona la penetración del agua, y la resiliencia geomorfológica, es decir, la capacidad de autorrecuperación de sistemas como dunas o playas ante la erosión (Toimil *et al.,* 2017a).

Desde una perspectiva ecológica o ambiental, la vulnerabilidad está ligada a los umbrales de supervivencia de ecosistemas marinos —como las praderas de *Posidonia oceanica* en Baleares (Marbà & Duarte, 2010), de *Cymodocea nodosa* en el Mar Menor (Ramos *et al.,* 2012) o los hábitats de algas rojas en Galicia (Piñeiro-Corbeira *et al.,* 2016)— y de ecosistemas costeros —como las marismas del Cantábrico (García-Artola *et al.,* 2016), el sistema dunar de Maspalomas (García-Romero *et al.,* 2019) o la Albufera de Valencia (Martín *et al.,* 2020)—. La superación de estos umbrales por estrés térmico, acidificación o eventos extremos puede comprometer procesos y funciones ecológicas (estructura, productividad, reproducción y reclutamiento), lo que reduce la protección de la costa y el sostenimiento de recursos pesqueros, con impactos subsecuentes sobre servicios ecosistémicos esenciales (Scholes *et al.,* 2016).

La vulnerabilidad socioeconómica incluye factores como la carga estructural o en superficie del terreno y el nivel de extracción de recursos subterráneos, que pueden amplificar la subsidencia. También son críticos los umbrales de afección a la población (p. ej., inundaciones de más de 10 cm pueden afectar movilidad y servicios), los umbrales de operatividad portuaria (afectados por oleaje y viento en puertos como los de Gijón, Algeciras o Palma), la calidad del capital construido (materiales, diseño, edad) y las tipologías de terminales y equipamiento, que condicionan la magnitud del daño (Martínez-Gomariz *et al.,* 2019).

Finalmente, la capacidad adaptativa está vinculada a la capacidad institucional y técnica de implementar medidas de adaptación, que varía entre comunidades autónomas (Losada *et al.,* 2019).

[6] El ascenso eustático del nivel del mar hace referencia al aumento global del nivel del mar debido principalmente al calentamiento de los océanos (expansión térmica) y al deshielo de glaciares y capas de hielo, en contraste con los procesos locales como la subsidencia o elevación tectónica del terreno.

Los planes autonómicos de adaptación del Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT) en Cataluña, el Principado de Asturias, las Islas Baleares o Murcia ya identifican puntos críticos en sus infraestructuras y hábitats costeros.

Los **factores de riesgo subyacentes** son condiciones estructurales, socioeconómicas o de gobernanza que, aunque no constituyen peligros climáticos por sí mismos, modulan la exposición y la vulnerabilidad y, por tanto, agravan el riesgo en los sistemas costeros frente al cambio climático (IPCC, 2022). Entre ellos destaca el crecimiento demográfico en zonas litorales, que incrementa la densidad de población expuesta a peligros como la inundación o la erosión costera. Este proceso suele ir acompañado de un aumento del capital construido (residencial, turístico o industrial) y una expansión urbana sobre áreas naturales o de alto valor ecosistémico, intensificando la presión sobre sistemas frágiles como marismas, dunas o deltas, cuya capacidad de recuperación se ve comprometida (Pörtner *et al.,* 2022). Asimismo, el aumento de la actividad económica en sectores como el turismo, la agricultura intensiva o la logística portuaria genera una mayor dependencia de los servicios, recursos e infraestructuras costeras, elevando tanto la exposición como las potenciales pérdidas asociadas. La transformación de usos del suelo (p. ej., la urbanización de llanuras inundables) reduce la capacidad de amortiguación natural frente a eventos extremos, al tiempo que impide la migración natural de hábitats ante la subida del nivel del mar (Sanz & galán, 2020). A escala más amplia, el crecimiento del tráfico marítimo global (Sardain *et al.,* 2019), los cambios en los patrones de comercio internacional o la interdependencia de los puertos con otras infraestructuras estratégicas (p. ej., redes energéticas, transporte, telecomunicaciones) propician la propagación de impactos en cascada (Izaguirre *et al.,* 2020). La elevada dependencia energética de infraestructuras portuarias y zonas urbanas (Mat *et al.,* 2016; Sadiq *et al.,* 2021) incrementa la sensibilidad a disrupciones provocadas por inundaciones costeras episódicas. Finalmente, la falta de mantenimiento de infraestructuras, así como la ausencia o deficiente implementación de planificación y regulación adaptativa, refuerzan la vulnerabilidad estructural.

La **Figura 10**representa de forma esquemática todas las componentes previamente descritas, los peligros climáticos, principales elementos expuestos del sector, los atributos que condicionan la vulnerabilidad de los elementos expuestos y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la *Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático*, desarrollada recientemente por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). Este modelo conceptual facilita la visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los riesgos relevantes que caracterizan el sector.

Costas y medio marino

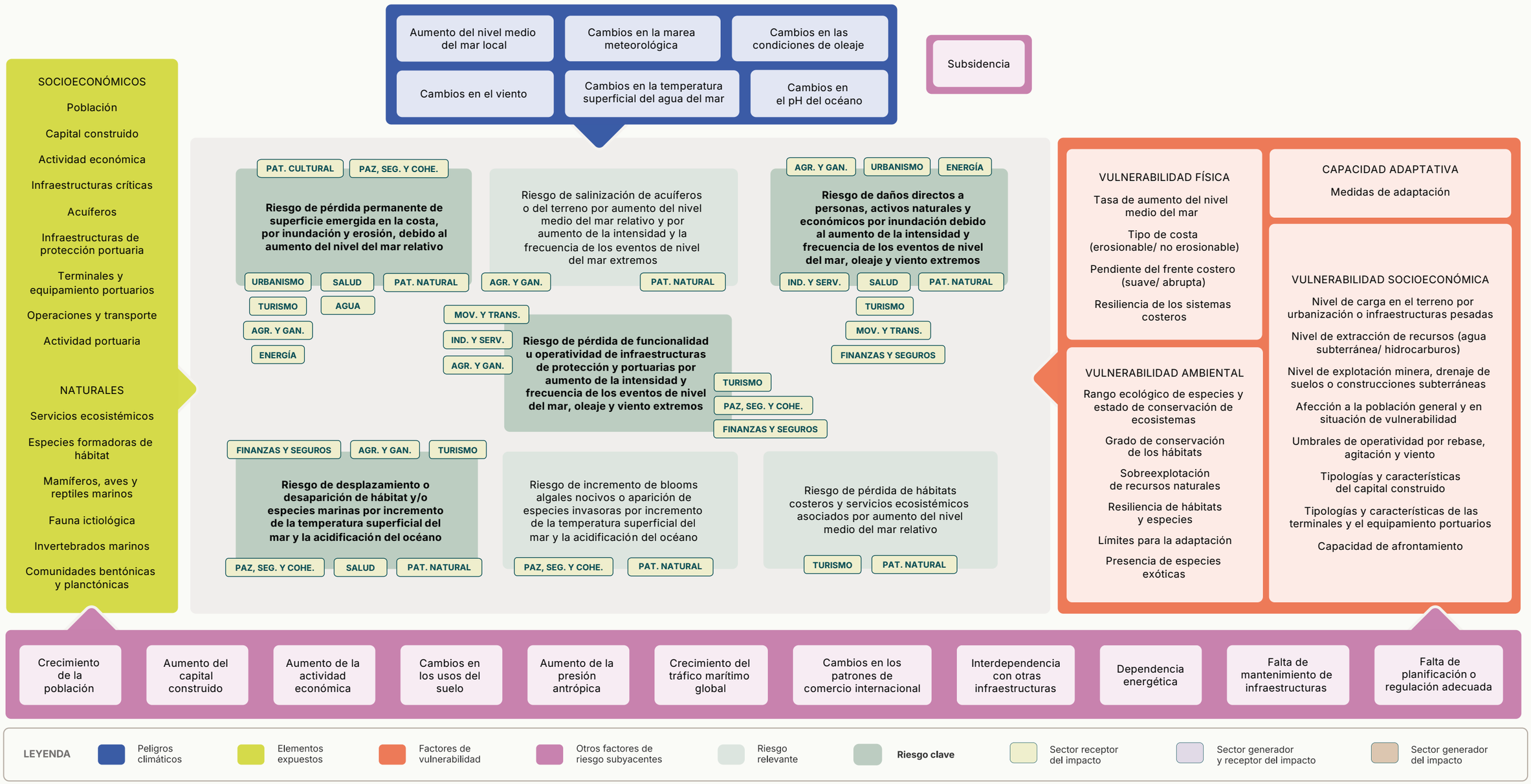


Figura 1. Riesgos relevantes para el sector Costas y Medio Marino.

Los riesgos relevantes para el sector Costas y Medio Marino se describen a continuación:

Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo.

Este riesgo se refiere a la desaparición irreversible de superficie costera que queda permanentemente sumergida o degradada por efecto combinado de la inundación persistente y la erosión progresiva asociadas al aumento del nivel medio del mar (Nicholls *et al.,* 2021). Afecta especialmente a aquellos tramos del litoral con baja cota respecto al nivel del mar, como estuarios, humedales, marismas y deltas, cuya capacidad de migración hacia el interior se ve frecuentemente limitada por la ocupación antrópica o por la existencia de infraestructuras rígidas (Losada *et al.,* 2014; Sanz & Galán, 2020). Ejemplos relevantes en España se localizan en el delta del Ebro, Doñana, la Albufera de Valencia o el delta del Llobregat. Esta pérdida permanente de superficie emergida implica una exposición total e irreversible para aquellas personas, infraestructuras y actividades económicas localizadas en zonas que quedan por debajo del nuevo nivel del mar. En ausencia de medidas de adaptación (p. ej., la elevación de edificaciones, la construcción de defensas o la modificación de usos del suelo), estos elementos expuestos no pueden continuar existiendo en su emplazamiento original y se ven forzados al desplazamiento o migración hacia el interior (Lincke & Hinkel, 2021). Esta situación implica no solo un riesgo físico directo, sino también un profundo impacto social y económico asociado a la relocalización de comunidades, la pérdida de capital construido y la disrupción de las actividades productivas, especialmente en sectores como el turismo, la actividad portuaria, la agricultura litoral o la pesca. Este riesgo puede cuantificarse mediante modelado de inundación estático (p. ej., empleando el método de la bañera) o dinámico (modelado de procesos), donde se combina información topográfica y escenarios de aumento del nivel medio del mar relativo. En España, se pueden emplear los mapas de inundación desarrollados en los proyectos del programa PIMA Adapta-Costas (MITECO, 2020) o los generados en el marco de la Directiva de Inundaciones de la UE. La superficie afectada depende del escenario de emisiones considerado, del horizonte temporal y de procesos locales como la subsidencia o los cambios en la línea de costa derivados de la dinámica sedimentaria.

Riesgo de salinización de acuíferos o del terreno por aumento del nivel medio del mar relativo y por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar y oleaje extremos.

La intrusión salina constituye un peligro para la calidad de los recursos hídricos subterráneos y la fertilidad del suelo, provocada por la penetración del agua marina en acuíferos costeros o por

la acumulación de sal en terrenos bajos tras eventos de sobre inundación (Ketabchi *et al.,* 2016; Costa *et al.,* 2023). Se manifiesta con especial intensidad en aquellas zonas donde los acuíferos costeros son explotados para el suministro de agua destinada a actividades agrícolas, urbanas o industriales. La intrusión salina deteriora la calidad de los recursos hídricos subterráneos y reduce su disponibilidad (Baena-Ruiz *et al.,* 2017; Almazan-Benitéz *et al.,* 2024). Este fenómeno puede resultar particularmente problemático en áreas con agricultura intensiva o dependientes de acuíferos para abastecimiento, como el Mar Menor o la huerta valenciana y las islas Baleares y Canarias. Los efectos de la salinización incluyen la pérdida de suelos productivos, la degradación de ecosistemas dependientes del agua subterránea y la disminución de la disponibilidad de agua dulce tanto para consumo humano como para riego (Vineis *et al.,* 2011; Shukla *et al.,* 2019). Además, la salinización de suelos y aguas subterráneas reduce los rendimientos agrícolas (MAPA, 2023), obliga al cambio de cultivos y encarece la producción de alimentos, generando impactos económicos significativos (Porter *et al.,* 2022). Asimismo, la intrusión salina afecta gravemente a humedales costeros, reduciendo servicios ecosistémicos clave como la protección frente a inundación, la biodiversidad y la provisión de hábitats (Pörtner *et al.,* 2022). La evaluación puede llevarse a cabo mediante el análisis de gradientes piezométricos, modelado hidrogeológico o monitoreo de conductividad en pozos, en combinación con escenarios de aumento del nivel del mar y eventos extremos (Werner *et al.,* 2013; Jiménez-Martínez *et al.,* 2020). En España, los Planes Hidrológicos de Cuenca del ciclo de planificación 2021–2027 (MITECO-DGA, 2023) permiten identificar masas de agua subterránea costeras que presentan mal estado químico debido a procesos de intrusión salina. Según los datos de la Dirección General del Agua, la tendencia en la mayoría de estas masas es desfavorable, con incrementos sostenidos de la conductividad y del contenido en cloruros en más del 60 % de los puntos de control, especialmente en acuíferos litorales de la Comunidad Valenciana, Murcia y Canarias. Sólo una minoría (<15 %) muestra signos de estabilización o mejora.

Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

La inundación costera episódica se produce cuando eventos meteorológicos extremos generan una elevación transitoria del nivel del mar, causada por la combinación de marea astronómica, marea meteorológica, oleaje intenso y viento fuerte (IPCC, 2019). Estas condiciones pueden superar los umbrales de protección existentes y provocar la inundación temporal de áreas costeras, afectando directamente a personas, infraestructuras, actividades económicas y ecosistemas (Ritchie *et al.,* 2021). Este tipo de riesgo se intensifica en áreas densamente urbanizadas, con escasa elevación y sin defensas eficaces (Losada *et al.,* 2019). Ejemplos recientes incluyen los temporales atlánticos de 2013–2014 en el norte de España (Garrote *et al.,* 2018) y la tormenta Gloria (enero

de 2020) en el litoral mediterráneo (Amores *et al.,* 2020), que causó daños severos en playas, paseos marítimos, sistemas dunares y zonas urbanas, especialmente en Cataluña, la Comunidad Valenciana y las Islas Baleares. Para evaluar este tipo de riesgo es necesario un enfoque que combine proyecciones de inundación costera para diferentes escenarios con el análisis geoespacial de la exposición (población, activos económicos, ecosistemas y redes de servicios) y funciones de vulnerabilidad específicas por tipo de elemento expuesto (Toimil *et al.,* 2017b). Las funciones de vulnerabilidad cuantifican los efectos esperados en función de variables como la resistencia estructural, la movilidad de la población, el valor de las actividades afectadas y la sensibilidad ecológica (Adger, 2006). Así, zonas turísticas, industriales o con ecosistemas degradados pueden sufrir impactos más severos. En España, herramientas como los mapas de riesgo elaborados en el marco del programa PIMA Adapta-Costas (MITECO, 2020b) o los desarrollados para la aplicación de la Directiva de Inundaciones de la UE ofrecen una base sólida para estos análisis. La superficie inundada depende del escenario de emisiones, el horizonte temporal y del periodo de retorno del evento considerado, así como de procesos locales como la subsidencia o los cambios en la línea de costa derivados de la dinámica sedimentaria.

Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

Este riesgo hace referencia a la disminución o interrupción de la capacidad operativa de diques, escolleras, muelles, terminales y otros elementos portuarios y se manifiesta cuando las condiciones meteorológicas superan los umbrales de diseño o seguridad estructural, provocando fenómenos como el rebase del oleaje, la agitación excesiva en las dársenas, la pérdida de calado por sedimentación, o la pérdida de estabilidad estructural (Verschuur *et al.,* 2020). Estos procesos afectan a la maniobrabilidad de las embarcaciones, a las operaciones de carga y descarga, y pueden provocar daños físicos sobre terminales, grúas, sistemas eléctricos o estructuras de abrigo, lo que repercute en la actividad logística, comercial e industrial de los puertos (Izaguirre *et al.,* 2020, 2021). Es especialmente relevante en zonas portuarias situadas en tramos expuestos de costa o con bajos estándares de protección, ya sea por envejecimiento de las infraestructuras, diseño obsoleto o falta de mantenimiento. En España, este tipo de riesgo afecta potencialmente a todas las comunidades autónomas con litoral y, en particular, a aquellas donde se ubican puertos en áreas con elevada exposición a temporales, como el País Vasco, Galicia, el Principado de Asturias o las Islas Baleares, donde el rebase de los diques o la sedimentación de los canales de acceso ya han generado episodios de disfuncionalidad (Lara *et al.,* 2019; Lucio *et al.,* 2024). Un ejemplo destacable es el episodio del invierno de 2014 en el Cantábrico, donde varios puertos sufrieron interrupciones temporales por rebase y daños en infraestructuras (Puertos del Estado, 2015). La

evaluación de este riesgo requiere combinar información sobre el clima marítimo futuro con datos sobre la cota, geometría y condiciones estructurales de las infraestructuras portuarias, así como sobre los umbrales de operatividad de cada terminal (altura de rebase, agitación permitida, velocidad del viento, etc.). Esta información ha sido parcialmente integrada en los planes autonómicos de adaptación de los terrenos de DPMT adscritos a las comunidades autónomas (MITECO, 2021a). En ellos se recogen estimaciones del número de puertos o infraestructuras que pueden quedar en situación de riesgo alto o muy alto, en función del escenario de emisiones, el horizonte temporal y el periodo de retorno del oleaje considerado, así como de la cota de inundación, el viento esperado y la vulnerabilidad estructural de las instalaciones.

Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitats y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial y la acidificación del mar.

El calentamiento del océano debido al cambio climático está provocando alteraciones sustanciales en la distribución, abundancia y composición de especies y hábitats en el litoral español. Este riesgo se materializa en forma de desplazamiento hacia latitudes o profundidades mayores de especies sensibles a la temperatura, pérdida de condiciones adecuadas para la reproducción o supervivencia de especies autóctonas, y degradación de hábitats marinos clave, con consecuencias sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Hernández *et al.,* 2023). Aunque afecta a toda la costa española, su intensidad y manifestaciones varían entre regiones. En la fachada atlántica, destacan los impactos sobre rías, marismas y bosques de algas pardas, como fucales y laminariales (Casado-Amezúa *et al.,* 2019), así como sobre comunidades bentónicas dominadas por *Gelidium corneum*, un alga roja de alto valor ecológico y económico que sostiene redes tróficas de moluscos, crustáceos y peces demersales (Ramos *et al.,* 2016). En el Mediterráneo, la regresión de praderas de *Posidonia oceanica* (Telesca *et al.,* 2015) y la degradación de lagunas litorales comprometen funciones esenciales como la reproducción de especies comerciales (p. ej., meros, doradas y nacras). Además, estos ecosistemas desempeñan un papel clave como sumideros de carbono, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático. En Canarias, los hábitats volcánicos y oceánicos profundos, que albergan cetáceos, tiburones, tortugas marinas y especies endémicas como el pez tamboril canario, son vulnerables al aumento térmico, a la acidificación y a la desoxigenación (de Sales, 2022). Los impactos ya son observables en forma de desplazamientos de especies, pérdida de biodiversidad, alteración de comunidades bentónicas y regresión de hábitats estructurantes como *Gelidium corneum* y *Posidonia oceanica*. Estas transformaciones afectan a la pesca, la acuicultura y el turismo costero, especialmente en regiones mediterráneas, Baleares y Canarias, donde estos sectores tienen gran peso económico. Estos procesos están alterando la estructura y funcionamiento de las comunidades marinas, modificando las relaciones tróficas y favoreciendo la expansión de especies exóticas en detrimento

de especies nativas. En menos de una década podrían alcanzarse puntos de no retorno en algunos ecosistemas vulnerables, agravando la inseguridad económica y alimentaria de comunidades con baja capacidad de adaptación. La evaluación de este riesgo requiere la monitorización de indicadores físicos y biológicos (p. ej., temperatura superficial del agua del mar, pH del océano, cobertura de hábitats, presencia de especies sensibles o exóticas), así como el uso de modelos ecológicos que proyecten cambios en la distribución de especies y hábitats potenciales bajo diferentes escenarios climáticos (Ramos *et al.,* 2012; Mandiola *et al.,* 2025). En España, estos impactos han sido evaluados en el marco de algunos proyectos del programa PIMA Adapta-Costas (MITECO, 2020b), como el desarrollado en el Principado de Asturias, donde se evaluó el efecto del aumento de la temperatura máxima superficial del mar en la distribución de las comunidades de macroalgas y se analizó espacialmente el cambio en la probabilidad de ocurrencia del *Gelidium corneum*. Más recientemente, el proyecto LIFE INTEMARES ha incorporado herramientas de modelización predictiva que, a partir de datos oceanográficos y biológicos recientes, permiten identificar áreas del litoral español con mayor probabilidad de pérdida de hábitat y desplazamiento de especies en el horizonte 2050–2100, priorizando medidas de conservación adaptativa en espacios de la Red Natura 2000 marinos (FB y MITECO, 2023).

Riesgo de incremento de blooms algales nocivos o aparición de especies invasoras por incremento de la temperatura superficial del mar.

Este riesgo afecta a todas las comunidades autónomas costeras, con manifestaciones regionales diferenciadas según las condiciones oceanográficas, la conectividad biológica y los usos del espacio litoral. El aumento de la temperatura superficial del agua del mar favorece la proliferación de floraciones algales nocivas y facilita la colonización y expansión de especies exóticas invasoras (IPCC, 2022). Estas alteraciones suponen una amenaza directa para la biodiversidad marina, al desplazar comunidades autóctonas y degradar hábitats clave como praderas de *Posidonia oceanica*, bancos de algas pardas y fondos bentónicos como el coralinígeno y los fondos de maërl o rodolitos (Sureda *et al.,* 2017). La expansión de estas especies se ve favorecida cuando las comunidades nativas están debilitadas por el estrés térmico o la contaminación, lo que reduce la competencia biológica y la resiliencia del ecosistema. Como consecuencia, pueden generar impactos negativos sobre sectores dependientes de los ecosistemas costeros, como la pesca, la acuicultura o el turismo (Angulo *et al.,* 2021). En el litoral andaluz, se han documentado expansiones masivas de especies invasoras como *Rugulopteryx okamurae* o *Caulerpa taxifolia*, que han colonizado fondos someros, acumulándose en redes de pesca, playas y puertos. El caso de *R. okamurae* en el litoral de Cádiz y Málaga ha ocasionado pérdidas económicas directas en la pesca artesanal, estimadas en más de 1,1 millones de euros anuales en la localidad de Tarifa por disminución de capturas, costes de limpieza y daños en artes de pesca, además de gastos municipales superiores a 500 000 € anuales para la retirada de

arribazones en playas y puertos (Altamirano *et al.,* 2016; Mogollón *et al.,* 2024). En el norte peninsular, especies como la ascidia *Pyura herdmani* han alterado ecosistemas y afectado explotaciones acuícolas, como en Galicia (Rius *et al.,* 2024). Se estima que más del 70–80 % de la costa española podría verse potencialmente afectada por estos fenómenos, especialmente en zonas donde la temperatura del mar ya supera umbrales críticos para especies autóctonas. La evaluación de este riesgo puede realizarse a través del seguimiento de indicadores ecológicos (p. ej., extensión y densidad de hábitats afectados, abundancia relativa de especies invasoras), el modelado de la idoneidad ambiental futura para especies invasoras en distintos escenarios climáticos y el análisis de impactos socioeconómicos asociados. En España, existen diversos estudios que permiten caracterizar parcialmente este riesgo, incluyendo el informe de Calvo Manazza et al. (2022), que identifica 57 especies alóctonas con riesgo alto o muy alto de impacto ecológico en la Red Natura 2000 marina, así como zonas críticas de introducción como el litoral andaluz, las Islas Baleares y Canarias. El seguimiento realizado por el Instituto Español de Oceanografía (Png González *et al.,* 2022) indica que especies invasorascomo *R. okamurae*, *Caulerpa cylindracea* y *Undaria pinnatifida* han experimentado un aumento sustancial en su distribución desde 2015, afectando a hábitats protegidos como praderas de Posidonia y arrecifes. Los informes de la UICN (2013; 2023) señalan que las especies invasoras marinas representan una de las cinco principales amenazas a la biodiversidad costera española, con pérdidas económicas asociadas en sectores como la acuicultura, el turismo y la pesca que pueden superar los 10 millones de euros anuales a escala nacional.

Riesgo de pérdida de hábitats costeros y servicios ecosistémicos asociados por aumento del nivel medio del mar relativo.

El aumento del nivel medio del mar relativo representa un peligro sustancial para los hábitats costeros, como playas, dunas, estuarios, marismas, humedales y deltas, especialmente en zonas de baja cota topográfica respecto al nivel del mar (Von Holle *et al.,* 2019; Hindsley & Yoskowitz, 2020). Este fenómeno puede provocar la pérdida progresiva o degradación de estos ecosistemas debido a la inundación permanente. Cuando estas áreas están confinadas por infraestructuras o desarrollos urbanos que impiden su migración tierra adentro, el riesgo se agrava por el fenómeno de estrangulamiento costero o *coastal squeeze*, en inglés (Pontee, 2013). Estos hábitats costeros constituyen más del 40 % del litoral español (Losada *et al.,* 2014) y son esenciales tanto por su valor ecológico como por los servicios ecosistémicos que proporcionan, incluyendo protección costera, almacenamiento de carbono, zonas de cría para especies comerciales y valor recreativo (Barbier *et al.,* 2011; Mehvar *et al.,* 2018). La pérdida de estas áreas reduce la capacidad natural de protección frente a inundaciones y erosión, lo que incrementa la exposición de infraestructuras, asentamientos costeros y actividades económicas como la pesca, la agricultura y el turismo, particularmente en zonas como el delta del Ebro, las marismas del Guadalquivir o el litoral atlántico

andaluz. Su pérdida genera impactos en cascada sobre sectores como la pesca, el turismo, la acuicultura y la agricultura costera, y puede aumentar la exposición al riesgo, las desigualdades territoriales y la pérdida de resiliencia de los sistemas socioecológicos (Liquete *et al.,* 2013; Pörtner *et al.,* 2022). El delta del Ebro, las marismas del Guadalquivir y numerosas playas del Cantábrico o el Mediterráneo figuran entre las zonas más vulnerables. Por ejemplo, los estudios del programa PIMA Adapta-Costas estiman pérdidas anuales superiores a 900 millones de euros en valor recreativo de playas para 2100 bajo el escenario RCP8.5, con impactos destacados en Cantabria, Murcia y Andalucía. La evaluación de este riesgo requiere un enfoque multidimensional que combine el análisis biofísico de los impactos con la valoración económica de los servicios ecosistémicos afectados. Para estimar las pérdidas asociadas a la desaparición de hábitats costeros, se emplean técnicas de valoración de activos naturales, que permiten asignar un valor económico a bienes y servicios no comercializados directamente en los mercados. Entre los métodos más comunes se encuentran el daño evitado (Toimil *et al.,* 2023), la función de producción (Toimil *et al.,* 2018), la valoración contingente (Ariza *et al.,* 2012) y el método del coste de viaje (Loomis & Santiago, 2013). Estos análisis económicos combinan, entre otras fuentes de datos (climáticas, sociales o ambientales), cartografía de ecosistemas y estudios geoespaciales de impacto, como áreas de playa erosionadas y mapas de inundación costera, incluidos los elaborados en el marco del programa PIMA Adapta-Costas (MITECO, 2020b).

A continuación, la Tabla 2 recoge el resumen de los riesgos relevantes en el sector Costas y Medio Marino.

Tabla 2. Listado de riesgos relevantes en el sector Costas y Medio Marino

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR6.1	Físico/infraestructural, económico/productivo, sistémico/ interdependencias, ambiental, social e institucional.	Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel del mar relativo.	RC6.1
RR6.2	Físico/infraestructural, económico/productivo, sistémico/ interdependencias, ambiental, social e institucional.	Riesgo de salinización de acuíferos o del terreno por aumento del nivel medio del mar relativo y por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar y oleaje extremos.	
RR6.3	Físico/infraestructural, económico/productivo, sistémico/ interdependencias, ambiental, social e institucional.	Riesgos de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.	RC6.2
RR6.4	Físico/infraestructural, económico/productivo, sistémico/ interdependencias, social e institucional.	Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.	RC6.3
RR6.5	Ecológico/ambiental, social, económico e institucional.	Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano.	RC6.4
RR6.6	Ecológico/ambiental, social, económico e institucional.	Riesgo de incremento de blooms algales nocivos o aparición de especies invasoras por incremento de la temperatura superficial del mar.	
RR6.7	Ecológico/ambiental, social, económico e institucional.	Riesgo de pérdida de hábitats costeros y servicios ecosistémicos asociados por aumento del nivel medio del mar relativo.	

4. Riesgos clave

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos riesgos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para identificar los riesgos clave del sector Costas y Medio Marino, los riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts and Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector de Costas y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el Análisis Multicriterio. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos que son catalogados como “Riesgos Clave” y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR6.1 Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo. (RC6.1).

- RR6.3 Riesgos de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos. (RC6.2).

- RR6.4 Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos. (RC6.3).

- RR6.5 Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano. (RC6.4).

A continuación, se describen en detalle los riesgos clave identificados.

4.1. RC6.1. Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo.

El riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo aborda la posibilidad de que determinadas zonas costeras queden sumergidas o se degraden irreversiblemente (Nicholls *et al.,* 2021). Afecta especialmente a tramos de costa de baja cota, como deltas, estuarios, humedales o playas, cuya posibilidad de desplazarse tierra adentro se ve restringida por la existencia de infraestructuras rígidas (Losada *et al.,* 2014; Sanz & Galán, 2020). Las consecuencias asociadas a esa pérdida de terrenos por anegación permanente incluyen impactos directos sobre la población, los medios de vida, el tejido económico y los ecosistemas, así como riesgos en cascada sobre sectores como la salud, el turismo, el transporte y el patrimonio natural (Glavovic *et al.,* 2022).

En España, este riesgo afecta a la totalidad de comunidades autónomas costeras, que abarcan más del 40 % del territorio nacional (Losada *et al.,* 2014). Cerca de 8,000 km de costa podrían verse afectados de manera variable en función de la topografía y el estándar de protección existente. En muchas regiones costeras, se producirán efectos sustanciales a partir de 2040-2050 para el escenario SSP5-8.5 y de 2050-2060 para el escenario SSP2-4.5, con creciente severidad hacia 2100 (Fox-Kemper *et al.,* 2021). Para el escenario SSP1-2.6, se esperan impactos localizados en zonas bajas y altamente expuestas de 2050 en adelante (Fox-Kemper *et al.,* 2021). En partes del delta del Ebro, el aumento del nivel medio del mar relativo puede superar umbrales físicos que den lugar a impactos no lineales a partir de 2040-2060, es decir, respuestas abruptas y desproporcionadas frente a incrementos graduales del nivel del mar (Glavovic *et al.,* 2022). Por ejemplo, una elevación adicional de pocos centímetros podría desencadenar la pérdida irreversible de superficie agrícola por salinización, el colapso funcional de sistemas de drenaje o la entrada permanente de agua marina en zonas actualmente protegidas, generando daños mucho mayores que los esperados en función del ritmo de ascenso. La pérdida de terrenos y superficie de playa seca por inundación es irrecuperable salvo en zonas limitadas y solamente por la acción humana como el bombeo de agua, la aportación artificial de arena o la construcción de defensas (IPCC, 2022).

La **Figura 2** representa la cadena de impacto asociada a este riesgo clave, incorporando los componentes esenciales del riesgo: peligro, exposición y vulnerabilidad. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco, donde confluyen los impactos físicos que resultan de los peligros, los elementos expuestos y los atributos que determinan su nivel de vulnerabilidad. A partir de este nodo central se despliegan las consecuencias del riesgo en forma de impactos biofísicos y socioeconómicos directos, así como de riesgos en cascada, tanto propios del sector como derivados de su interrelación con otros sectores.

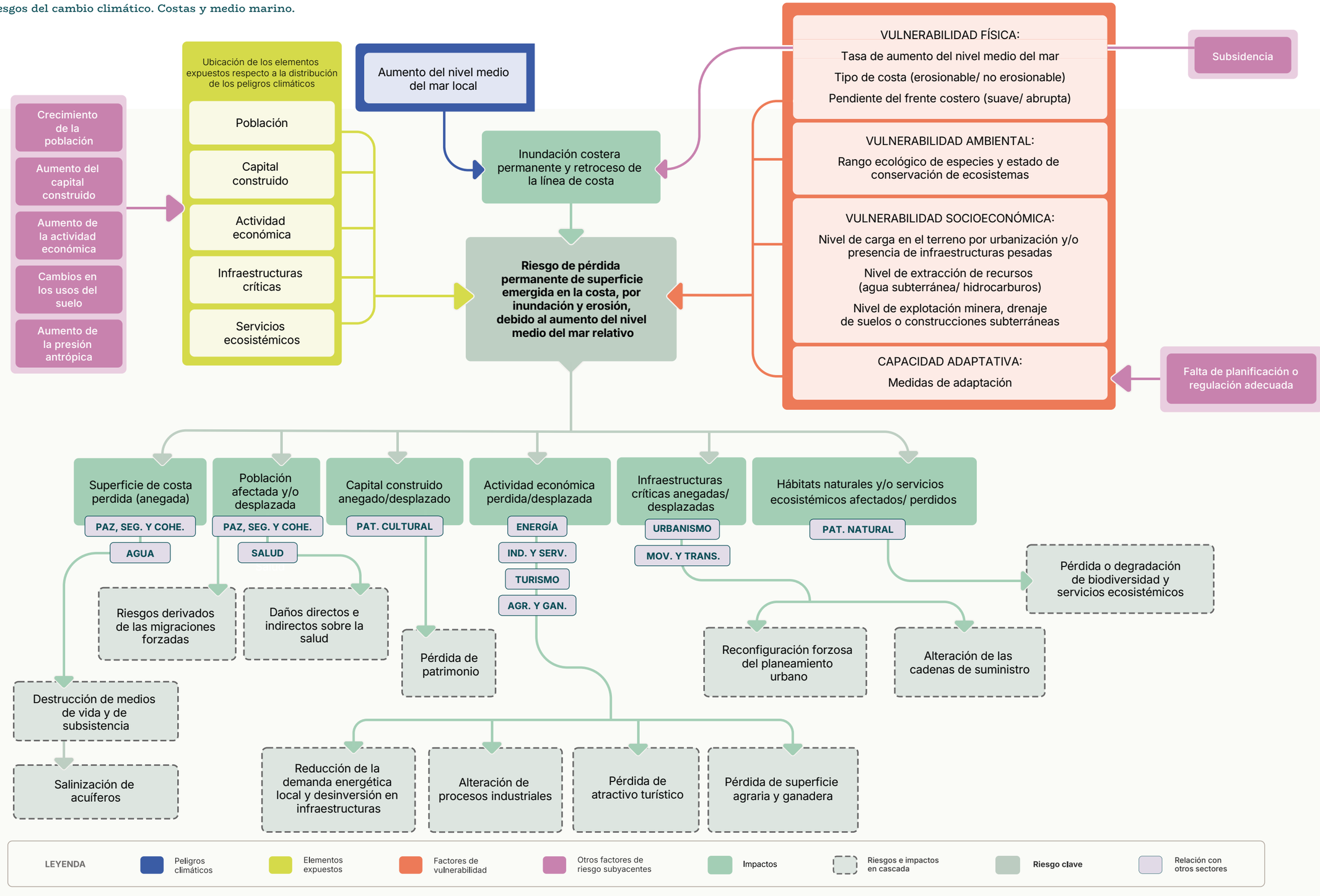


Figura 2. Cadena de impactos para el riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo.

El riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en zonas costeras por inundación y erosión está asociado fundamentalmente a dos **peligros** principales: el aumento del nivel medio del mar local y la subsidencia del terreno. La primera tiene un origen climático y está impulsada por la expansión térmica del océano (Church *et al.,* 2013; Fox-Kemper *et al.,* 2021), la fusión de glaciares de montaña (Hock *et al.,* 2019), y la pérdida de masa de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida (Meredith *et al.,* 2019), junto con alteraciones en el almacenamiento de agua terrestre, como los cambios en acuíferos, embalses y zonas húmedas, que modifican el balance global del agua y contribuyen al ascenso del nivel del mar (Douville *et al.,* 2021). La segunda, de origen no climático, responde tanto a procesos naturales, como la compactación natural de sedimentos en zonas deltaicas, como a causas antrópicas, entre las que destacan la extracción intensiva de aguas subterráneas, hidrocarburos o gas (Nicholls *et al.,* 2021). Cabe señalar que ciertos factores climáticos, como las sequías prolongadas, pueden agravar indirectamente estos procesos al intensificar el uso de acuíferos. La interacción entre estos peligros da lugar a dos impactos costeros crónicos: la inundación permanente de zonas bajas, que quedan anegadas de forma irreversible, y el retroceso progresivo de la línea de costa por erosión, especialmente en playas, marismas y deltas (Ranasinghe *et al.,* 2016; Toimil *et al.,* 2020). Estos procesos conllevan una pérdida sostenida de superficie actualmente emergida, comprometiendo la funcionalidad ecológica, la habitabilidad y los usos socioeconómicos del litoral (Glavovic *et al.,* 2022; Pörtner *et al.,* 2022).

La **exposición** en relación con el riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar relativo, está determinada esencialmente por la presencia y concentración de población, capital construido, actividad económica, infraestructuras críticas y servicios ecosistémicos en zonas litorales bajas. Estos elementos se consideran factores de exposición porque su localización en áreas susceptibles de inundación y erosión condiciona la magnitud de los impactos potenciales (IPCC, 2022). La **Figura 3** muestra un ejemplo de caracterización geoespacial de de los edificios residenciales y el número de residentes en Santander (Cantabria). En comunidades autónomas como Andalucía, Cataluña y la Comunidad Valenciana, la expansión urbanística sobre llanuras litorales, marjales y deltas ha incrementado significativamente la exposición de población y activos residenciales (p. ej., ICGC, 2021). En comunidades autónomas como Baleares y Canarias, esta exposición se manifiesta en la alta densidad de instalaciones hoteleras, equipamientos recreativos y otras infraestructuras turísticas situadas directamente sobre la franja costera (SOCIB, 2021; GRAFCAN, 2022). En la región de Murcia, la ocupación intensiva del cordón litoral de La Manga del Mar Menor representa un caso paradigmático de exposición acumulada, con edificaciones turísticas, dotaciones y redes de servicios implantadas sobre una estrecha franja costera con escasa capacidad de respuesta ante procesos crónicos de pérdida de superficie emergida (IHCantabria, 2021a). Asimismo, en regiones como Galicia, el Principado de Asturias, Cantabria

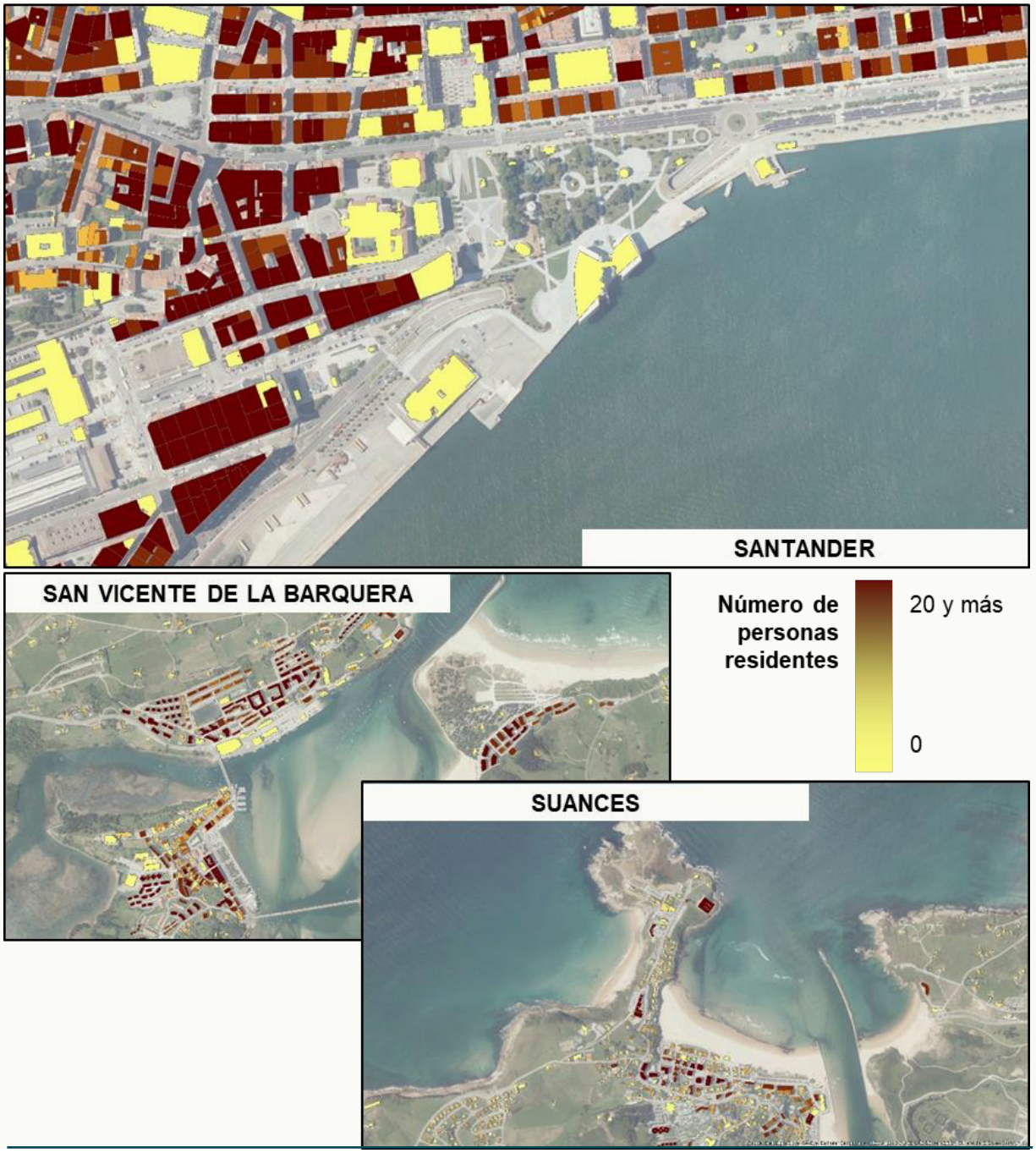


Figura 3. Ejemplo de visualización de la caracterización de la población para estudios de inundación costera. Fuente: PIMA Adapta-Cantabria (IHCantabria, 2021a).

y el País Vasco, la exposición se manifiesta en infraestructuras críticas situadas en cotas bajas, como redes de transporte, plantas energéticas o equipamientos sanitarios y educativos, que podrían verse afectadas por la alteración permanente del borde litoral (IHCantabria, 2021b, 2021b; IHOBE, 2021). Los servicios ecosistémicos costeros, como la protección natural, la estabilización sedimentaria o la provisión de hábitats, se encuentran también expuestos en todo

el litoral, especialmente allí donde la presión antrópica y la falta de espacio para la migración tierra adentro limitan su persistencia funcional. Los cambios demográficos, el aumento del capital construido, el crecimiento de la actividad económica, las transformaciones en los usos del suelo y la creciente presión sobre los ecosistemas litorales constituyen factores de riesgo subyacente, al incrementar progresivamente la exposición y reducir la resiliencia del sistema costero frente a impactos crónicos (Ranasinghe *et al.,* 2021; Glavovic *et al.,* 2022).

La **vulnerabilidad** en relación con el riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en zonas costeras está condicionada por factores físicos, socioeconómicos, ambientales y por atributos vinculados a la capacidad adaptativa de los territorios (Adger, 2006). Entre los factores de vulnerabilidad física, destacan la tasa de aumento del nivel medio del mar relativo, el tipo de costa y la pendiente del frente costero. Una mayor tasa de ascenso del nivel medio del mar reduce el margen temporal disponible para implementar medidas de adaptación y favorecer respuestas graduales del sistema costero. Esta vulnerabilidad se ve acentuada en costas de baja pendiente y con materiales fácilmente erosionables, como playas arenosas, marismas o sistemas deltaicos, donde incluso pequeñas elevaciones del nivel del mar pueden desencadenar retrocesos sustanciales de la línea de costa y la pérdida irreversible de superficie emergida. Este es el caso de deltas y llanuras litorales en Andalucía (como Doñana), Cataluña (delta del Ebro) o la Comunidad Valenciana (marjales), donde la combinación de escasa pendiente y baja cota con respecto al nivel medio del mar agrava la vulnerabilidad física (Sánchez-Arcilla *et al.,* 1998).

En cuanto a la vulnerabilidad socioeconómica, esta se ve incrementada por actividades que favorecen o aceleran la subsidencia, como una alta carga en superficie derivada de una urbanización intensa o de infraestructuras pesadas, por ejemplo, en la Región de Murcia, en zonas como La Manga del Mar Menor, así como por la extracción continuada de agua subterránea (observada en acuíferos litorales de Andalucía y Murcia) o hidrocarburos, el drenaje de suelos húmedos y la presencia de excavaciones subterráneas o túneles urbanos (Molina *et al.,* 2009; Rodríguez-Estrella, 2012). Estos procesos agravan el hundimiento del terreno y también reducen la capacidad de recuperación frente a la elevación del nivel del mar. Un caso representativo es el delta del Ebro, que experimenta tasas de subsidencia de hasta 3 mm/año, resultado de la compactación natural del terreno y de factores antrópicos como la reducción del aporte fluvial de sedimentos, la explotación de acuíferos y el drenaje de suelos húmedos (Ibáñez *et al.,* 2014).

La vulnerabilidad ambiental está determinada por los umbrales de tolerancia de los ecosistemas costeros ante el anegamiento prolongado y crónico, la salinización o la pérdida de conectividad ecológica (Pörtner *et al.,* 2022). Sistemas como los humedales de Doñana, las marismas del Odiel y del Guadalquivir, o los hábitats litorales en Baleares, presentan una elevada sensibilidad a estos cambios, pudiendo perder su funcionalidad ecológica y colapsar.

Finalmente, los atributos de vulnerabilidad relacionados con la capacidad adaptativa, como el grado de implementación y eficacia de las medidas de adaptación, condicionan de forma decisiva la respuesta ante este riesgo. Comunidades autónomas como Galicia, Cantabria o el País Vasco ya han desarrollado planes específicos de adaptación (p. ej., Estrategia KLIMA 2050), pero su aplicación es desigual y aún incipiente en muchas regiones litorales. La falta de planificación estratégica, de regulación urbanística adaptativa y de coordinación institucional representa un factor adicional que amplifica la vulnerabilidad. La dispersión competencial entre administraciones, la presión urbanística sobre el litoral y la escasa aplicación de medidas preventivas han limitado históricamente la integración efectiva de la adaptación en la gestión del riesgo costero (Losada *et al.,* 2019).

La pérdida permanente de superficie emergida en zonas costeras, resultado del ascenso del nivel medio del mar relativo y de los procesos de inundación crónica y erosión costera, genera una serie de **impactos biofísicos y socioeconómicos** de gran alcance. Entre los impactos biofísicos, destaca la pérdida directa de superficie terrestre costera por anegación, con una reducción irreversible del espacio físico disponible para usos humanos y ecológicos (Oppenheimer *et al.,* 2019). Por ejemplo, la **Figura 4** muestra el alcance de los terrenos que se inundarían de forma permanente debido al aumento del nivel medio del mar relativo para diferentes escenarios de emisiones en la playa del Matorral, en la isla de Fuerteventura (Canarias). Este proceso conlleva la degradación o desaparición de hábitats naturales, como marismas, humedales, playas y dunas, comprometiendo servicios ecosistémicos esenciales como la protección costera, la regulación hídrica o la provisión de hábitats para especies marinas clave (Barbier *et al.,* 2011; Mehvar *et al.,* 2018). En el ámbito socioeconómico, se produce la afectación o desplazamiento forzado de poblaciones costeras, con implicaciones en sus medios de vida, el acceso a servicios básicos y la cohesión social (Glavovic *et al.,* 2022). El capital construido, incluyendo edificaciones, instalaciones turísticas e industriales, puede quedar anegado o requerir relocalización, con elevados costes económicos y logísticos. La actividad económica basada en el litoral, como el turismo o la agricultura, se ve alterada o desplazada cuando desaparecen los recursos físicos que la sostienen. La pérdida o inutilización de infraestructuras críticas, como carreteras, redes ferroviarias, depuradoras o instalaciones energéticas, puede generar disrupciones prolongadas en servicios básicos y agravar el impacto global (Barrios-Crespo *et al.,* 2023; Nirandjan *et al.,* 2024).

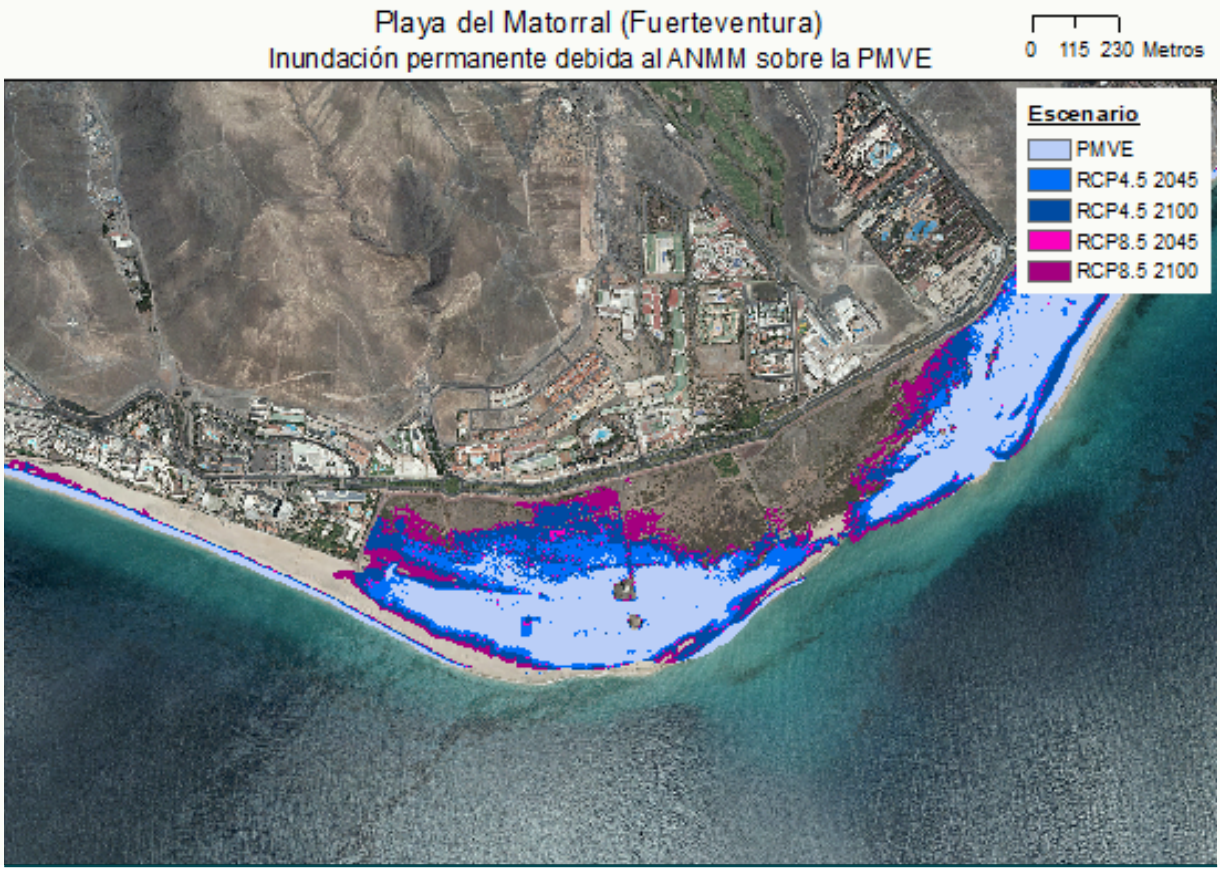


Figura 4. Ejemplo de mapas de inundación permanente en la playa del Matorral (Fuerteventura, Canarias). Cambios en la extensión de la inundación para diferentes escenarios y horizontes temporales. Fuente: PIMA Adapta-Canarias (GRAFCAN, 2022).

Los resultados del programa PIMA Adapta-Costas evidencian la magnitud del riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en el litoral español frente al ascenso del nivel medio del mar. En el horizonte 2050, se estima que la población afectada por procesos de inundación permanente podría variar entre valores bajos en territorios insulares, como Baleares (682–739 personas) (SOCIB, 2021) y Canarias (619–788 personas) (GRAFCAN, 2022), valores medios en Cataluña (27.000–44.000 personas) (ICG, 2021) y valores altos en Andalucía (304.500–325.500 personas) (visor PIMA Adapta-Andalucía). Para 2100, estas cifras aumentan significativamente en todos los escenarios, alcanzando hasta 381.500 personas afectadas en Andalucía y más de 66.000 en Cataluña bajo condiciones de alta emisión. En cuanto a las consecuencias económicas, se prevén pérdidas sustanciales en capital físico y actividad productiva. Por ejemplo, en el Principado de Asturias, un ascenso de 1 metro del nivel del mar comprometería activos residenciales e industriales valorados en 103 millones de euros y provocaría pérdidas anuales superiores a 7 millones en valor añadido agrícola, industrial y ecosistémico. A escala nacional, bajo el escenario RCP8.5 para 2100, las pérdidas podrían superar los 4.600 millones de euros en las Islas Canarias, los 1.000 millones en Andalucía y afectar el PIB de Cataluña en más de 1.600 millones. Además, se han identificado infraestructuras críticas expuestas como redes de transporte (p. ej., en el

Principado de Asturias, Cataluña, Comunidad Valenciana, Andalucía o Baleares), centrales energéticas (p. ej., en la Comunidad Valenciana) o centros educativos (p. ej., Baleares) (IHCantabria, 2017; ICGC, 2021; visor PIMA Adapta-Valencia; visor PIMA Adapta-Andalucía; SOCIB, 2021). Estas afecciones se concentran especialmente en zonas bajas como llanuras deltaicas (por ejemplo, el del Ebro), marismas, áreas urbanas costeras o sistemas litorales particularmente sensibles, como el Mar Menor o el entorno de Doñana (IHCantabria, 2021b).

Los impactos asociados a la pérdida permanente de superficie emergida en zonas costeras no solo afectan directamente al territorio costero y sus ocupantes, sino que generan **riesgos en cascada** que repercuten en múltiples sectores y sistemas interdependientes. En el ámbito de la paz, seguridad y cohesión social, la destrucción de medios de vida tradicionales y la inhabitabilidad progresiva de determinadas áreas pueden desencadenar conflicto por el uso del suelo, tensiones sociales y movimientos migratorios forzados desde zonas costeras hacia áreas interiores, con implicaciones en la planificación territorial, la gobernanza y los derechos humanos (Adger *et al.,* 2022). En el sector salud, los daños a infraestructuras sanitarias, la pérdida de acceso a agua potable por intrusión salina y el aumento de enfermedades infecciosas asociadas a condiciones de insalubridad o proliferación de vectores en zonas anegadas pueden comprometer tanto la salud física como mental de las poblaciones afectadas (Cissé *et al.,* 2022). La pérdida de patrimonio cultural, tanto material (como yacimientos arqueológicos, edificaciones históricas o paisajes culturales costeros) como inmaterial (identidades ligadas al territorio y a las prácticas tradicionales), constituye otro efecto irreversible que afecta a la memoria colectiva y la diversidad cultural. Los efectos también alcanzan sectores clave como el energético, industrial y de servicios, donde la inundación de infraestructuras críticas, alteraciones en los ciclos de suministro o interrupciones en la producción pueden generar disrupciones económicas sustanciales (Lawrence *et al.,* 2020). El turismo, particularmente el de sol y playa, se ve afectado por la degradación o desaparición de recursos costeros como playas y humedales, reduciendo su atractivo y viabilidad económica (Toimil *et al.,* 2018; Hernández *et al.,* 2023). Asimismo, la agricultura y la ganadería enfrentan la pérdida de suelos productivos en zonas bajas por inundación, con impactos sobre cultivos estratégicos y áreas de pasto costeras. En los sectores de urbanismo y transporte, la destrucción de redes viarias, accesos y áreas urbanizadas obliga a repensar los esquemas de movilidad y el suministro de servicios básicos, y compromete la continuidad de las cadenas logísticas. Finalmente, la pérdida de superficie emergida afecta al patrimonio natural, provocando la degradación de hábitats, la disminución de biodiversidad y la pérdida de servicios ecosistémicos como la regulación climática, la protección frente a tormentas y la provisión de recursos naturales.

Ficha 1. Análisis del riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Sustancial	Crítica	Catastrófica
	La pérdida permanente se concentra en playas, dunas, marismas y deltas con cota baja, pero el alcance aún es localizado y no genera desplazamientos masivos. Los daños económicos agregados son reducidos (orden <0,01 % del PIB nacional), aunque existen focos sensibles (p. ej., Mar Menor, Doñana, deltas).	Con la extensión potencial afectable y la exposición creciente de infraestructuras y usos urbanos, el riesgo deja de ser estrictamente local y pasa a abarcar decenas–cientos de kilómetros de costa. Sin llegar aún a los valores de 2050, ya aparecen miles a decenas de miles de personas potencialmente afectadas en tramos de baja cota y daños económicos agregados que, al sumar varios focos regionales, son coherentes con el rango 0,01–0,1 % del PIB nacional.	Para 2050 se estiman centenares de miles de personas afectadas por inundación permanente (304–326 mil en Andalucía; 27–44 mil en Cataluña), junto con exposición de redes y servicios esenciales. Las pérdidas económicas superan el umbral del 0,1 % del PIB nacional (≥1.500 M€) cuando se agregan impactos regionales (p. ej., >1.600 M€ en Cataluña, >1.000 M€ en Andalucía).	Bajo escenarios de emisiones altas, se proyectan cientos de miles de personas desplazadas de forma permanente (hasta ~382 mil en Andalucía y >66 mil en Cataluña), pérdidas económicas nacionales que plausiblemente superan el 1 % del PIB (≥15.000 M€) al sumar varios focos regionales (p. ej., 4.600 M€ solo en Canarias, >1.600 M€ en Cataluña, >1.000 M€ en Andalucía, más otras CCAA), y cambios irreversibles en deltas y marismas. El alcance territorial abarca cientos de kilómetros de costa y decenas de miles de hectáreas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	**Actual**	**Corto plazo** 2021-2040 (1,5 °C)	**Medio plazo** 2041-2060 (2 °C)	**Largo plazo** 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	**Alto** ◆◆◆ · Alta · Alto	**Alto** ◆◆◆ · Alta · Alto	**Medio** ◆◆ · Media · Alto	**Bajo** ◆ · Baja · Medio
	Datos observacionales directos y alta resolución espacial. Coincidencia alta entre series históricas, estudios regionales y nacionales.	Estudios nacionales (PIMA Adapta-Costas) con rangos de población y superficie detallados. Alta coherencia en tendencias de aumento del nivel medio del mar y escenarios de exposición.	Proyecciones de aumento del nivel medio del mar relativo con mayor incertidumbre. Incertidumbre también en la respuesta de los ecosistemas. Consenso científico alto sobre tendencia general.	Incertidumbre alta en el aumento del nivel medio del mar relativo debido al deshielo de Groenlandia y la Antártida, a la tasa de subsidencia y a la capacidad de migración de ecosistemas. Escenarios socioeconómicos variables. El acuerdo científico es alto respecto a la señal positiva del cambio (ascenso del nivel medio del mar), mientras que la magnitud del incremento presenta mayor incertidumbre.

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Aumento del nivel medio del mar relativo, compuesto por el aumento del nivel medio del mar local y la subsidencia del terreno. Esto da lugar a la inundación costera permanente y al retranqueo de la línea de costa.	Población, capital construido, actividad económica, infraestructuras críticas y servicios ecosistémicos.	Tasa de aumento del nivel medio del mar local, nivel de subsidencia, nivel de implementación de medidas de adaptación, tipo de costa, pendiente del frente costero y umbral de supervivencia de ecosistemas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El riesgo de pérdida de superficie emergida en España es eminentemente interno, pero puede tener implicaciones indirectas transfronterizas: presión migratoria hacia otras regiones costeras o interiores de países vecinos (p. ej., desplazamientos intraeuropeos desde zonas vulnerables del litoral español) y posibles disputas por recursos pesqueros, acceso a tierras emergidas o reasentamientos.
Territoriales	Desplazamiento de la población desde áreas costeras bajas (deltas, marismas, sistemas de dunas) hacia el interior, con efectos sobre la planificación urbanística, la distribución de infraestructuras, la necesidad de suelo y la gobernanza multinivel. Riesgos de conflictos por el uso del suelo y cambios en la cohesión territorial.
Sociales	Riesgo de pérdida de medios de vida (p. ej., agricultura, pesca, turismo), inseguridad de tenencia de la tierra y migración forzosa. Impactos sobre la paz, la seguridad y la cohesión social (conflictos locales por reasentamiento y uso de recursos). Efectos sobre salud física y mental debido a la pérdida de vivienda, infraestructuras básicas y servicios esenciales.
Maladaptación	Posibilidad de respuestas de adaptación inadecuadas que agraven la erosión (p. ej., espigones que interrumpen dinámicas sedimentarias). Rellenos o protecciones rígidas pueden trasladar el riesgo a zonas adyacentes. Medidas de protección costosa pueden reforzar desigualdades socioeconómicas si solo protegen áreas de alto valor económico.
Género	La pérdida de superficie emergida puede tener efectos diferenciados: las mujeres, en comunidades costeras con altos niveles de dependencia de recursos locales (pesca artesanal, agricultura de subsistencia), pueden enfrentar mayor vulnerabilidad por menor acceso a recursos financieros y tierra segura. Además, la migración forzada y la ruptura de redes de cuidado comunitario afectan de forma desigual a mujeres y niñas.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	El umbral viene establecido por la relación entre la cota del nivel del mar y la del terreno local o la de los sistemas de protección existentes. En playas, el umbral dependerá de la playa seca disponible, del tipo de arena y de si existe o no algún elemento rígido en el trasdós de la playa. Los umbrales incluyen el alcance irreversible de la línea de costa (anegación permanente) y pérdida de hábitats costeros clave una vez superados niveles de subida del mar o erosión sin capacidad de regeneración.
Lock-in/Bloqueo	Infraestructuras fijas (paseos marítimos, urbanizaciones costeras) que limitan la migración natural de sistemas costeros y perpetúan la exposición al riesgo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• Existe una Estrategia Española de Adaptación de la Costa (MITECO, 2017) y planes de adaptación para zonas geográficas específicas (p. ej., Galicia, Cantabria, País Vasco, Cataluña y Murcia) o ciudades (p. ej., planes urbanísticos en la Comunidad Valenciana). Asimismo, el Plan Estratégico Nacional para la Protección de la Costa considerando los efectos del Cambio Climático (MITECO, 2022b) y las Estrategias para la Protección de la Costa por tramos prioritarios articulan medidas específicas (p. ej., Huelva, Maresme, sur de Castellón y Valencia, Granada, Cádiz–Málaga–Almería, Islas Baleares). Además, los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI) de las demarcaciones hidrográficas constituyen el marco operativo para la gestión del riesgo de inundación. Existe un amplio margen para fortalecer la implementación de medidas de adaptación. Otras herramientas de aplicación son la regulación del DPMT; la restauración de dunas y humedales; la revisión de ordenación del territorio.
Gobernanza de gestión del riesgo	La gestión del riesgo costero se desarrolla en un marco normativo complejo, con coexistencia de instrumentos de planificación hidrológica, costera y urbanística, lo que plantea desafíos de coherencia e integración. La distribución de competencias entre distintos niveles de gobierno (Estado, comunidades autónomas y ayuntamientos) requiere mecanismos de coordinación interinstitucional. Aunque existen espacios de colaboración, se identifican oportunidades para mejorar la implicación del sector privado y fortalecer la participación ciudadana, especialmente en medidas transformadoras como la retirada planificada. La disponibilidad de financiación estable y de largo plazo, así como la integración efectiva del riesgo costero en la planificación territorial, son factores clave para avanzar hacia una gestión más resiliente. La evaluación continua y el ajuste adaptativo de las medidas implementadas siguen siendo áreas con margen de desarrollo.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Protección costera sostenible. Mejora de infraestructuras verdes (p. ej., restauración de dunas, humedales y marismas) y soluciones basadas en la naturaleza que generen sinergias con la biodiversidad y contribuyan a la conservación de hábitats costeros valiosos (Red Natura 2000). Reducción de daños económicos. Minimización de pérdidas de suelo urbano, agrícola o turístico mediante planes de relocalización planificada o medidas de protección híbridas. Incremento de la resiliencia socioeconómica. Protección de comunidades costeras vulnerables, mantenimiento de playas y espacios de uso público, apoyo a la continuidad de actividades económicas clave (p. ej., turismo, pesca, agricultura).
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto de infraestructuras duras. Algunas medidas como diques o espigones pueden tener una huella de carbono significativa durante su construcción y mantenimiento. Soluciones basadas en la naturaleza. La restauración de humedales y marismas costeras contribuye a la captura de carbono azul, generando co-beneficios climáticos. Reubicación planificada. Esta medida puede evitar inversiones repetidas en reconstrucción y reducir emisiones asociadas a obras de emergencia tras daños por pérdida de suelo. Planes urbanísticos alineados. Permiten integrar la adaptación costera en la planificación territorial minimiza la urbanización de zonas de riesgo y limita emisiones indirectas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Déficits de información	Cartografía detallada. Falta de información actualizada y de alta resolución sobre la topobatimetría costera y tasas locales de subsidencia o elevación del terreno. Proyecciones a escala local. Necesidad de escenarios de aumento del nivel del mar regionalizados. Valoración de servicios ecosistémicos. Escasa cuantificación de los beneficios económicos de los hábitats costeros como protección natural y sumideros de carbono. Indicadores de vulnerabilidad social. Carencia de datos socioeconómicos suficientemente desagregados para evaluar la exposición y capacidad de adaptación de comunidades costeras. Monitoreo continuo. Insuficiencia de redes de observación para validar modelos de erosión costera y pérdida de superficie emergida en escalas temporales largas.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un seguimiento periódico. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.2. RC6.2. Riesgos de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

El riesgo de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debida al aumento de la intensidad y frecuencia de eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos aborda la posibilidad de que episodios meteorológicos severos generen impactos negativos sustanciales en zonas costeras (Collins *et al.,* 2019). Este riesgo se manifiesta especialmente en tramos urbanizados o densamente ocupados del litoral, donde la exposición de población, de infraestructuras y de servicios es alta, y donde los sistemas de protección actuales pueden resultar insuficientes ante eventos más intensos o recurrentes (Ranasinghe *et al.,* 2021). La coincidencia de estos episodios meteorológicos extremos con niveles altos de pleamar puede amplificar significativamente la magnitud de la inundación y aumentar los daños socioeconómicos (Toimil *et al.,* 2017b). Las consecuencias incluyen daños estructurales en edificaciones e infraestructuras críticas, interrupción de servicios esenciales, afectación de ecosistemas y pérdida de actividad económica vinculada al turismo, al comercio o a la producción agrícola en zonas bajas (Rosenzweig *et al.,* 2022). Además, estos eventos pueden generar efectos en cascada sobre sectores como el patrimonio natural, el urbanismo, la energía, la industria, los servicios, la agricultura y la ganadería, entre otros (Lawrence *et al.,* 2020).

El peligro es especialmente relevante en tramos de baja cota respecto al nivel medio del mar, donde existen ecosistemas vulnerables como playas, estuarios, humedales, marismas y deltas, así como en zonas sin defensas costeras o con estructuras deterioradas o diseñadas bajo estándares que ya no se ajustan a las nuevas condiciones extremas (p. ej., Ballesteros *et al.,* 2018; Agulles *et al.,* 2021; Luque *et al.,* 2021; Sánchez-Artús *et al.,* 2023). Los eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento ya están dando lugar a inundaciones costeras más frecuentes en países situados en el suroeste de Europa (C3S, 2022), y se prevé que aquellos que históricamente ocurrían una vez por siglo lleguen a producirse al menos una vez al año en numerosas regiones en 2050, independientemente del escenario de emisiones considerado (Fox-Kemper *et al.,* 2021). Estos impactos afectarán tanto a tramos urbanizados como a espacios naturales de alto valor ecológico, especialmente en aquellas regiones donde no se han actualizado las medidas de protección o donde el espacio para la adaptación física del litoral es limitado (Chust *et al.,* 2010).

La Figura 5 representa la cadena de impactos asociada a este riesgo clave, articulada en torno al peligro, exposición y vulnerabilidad.

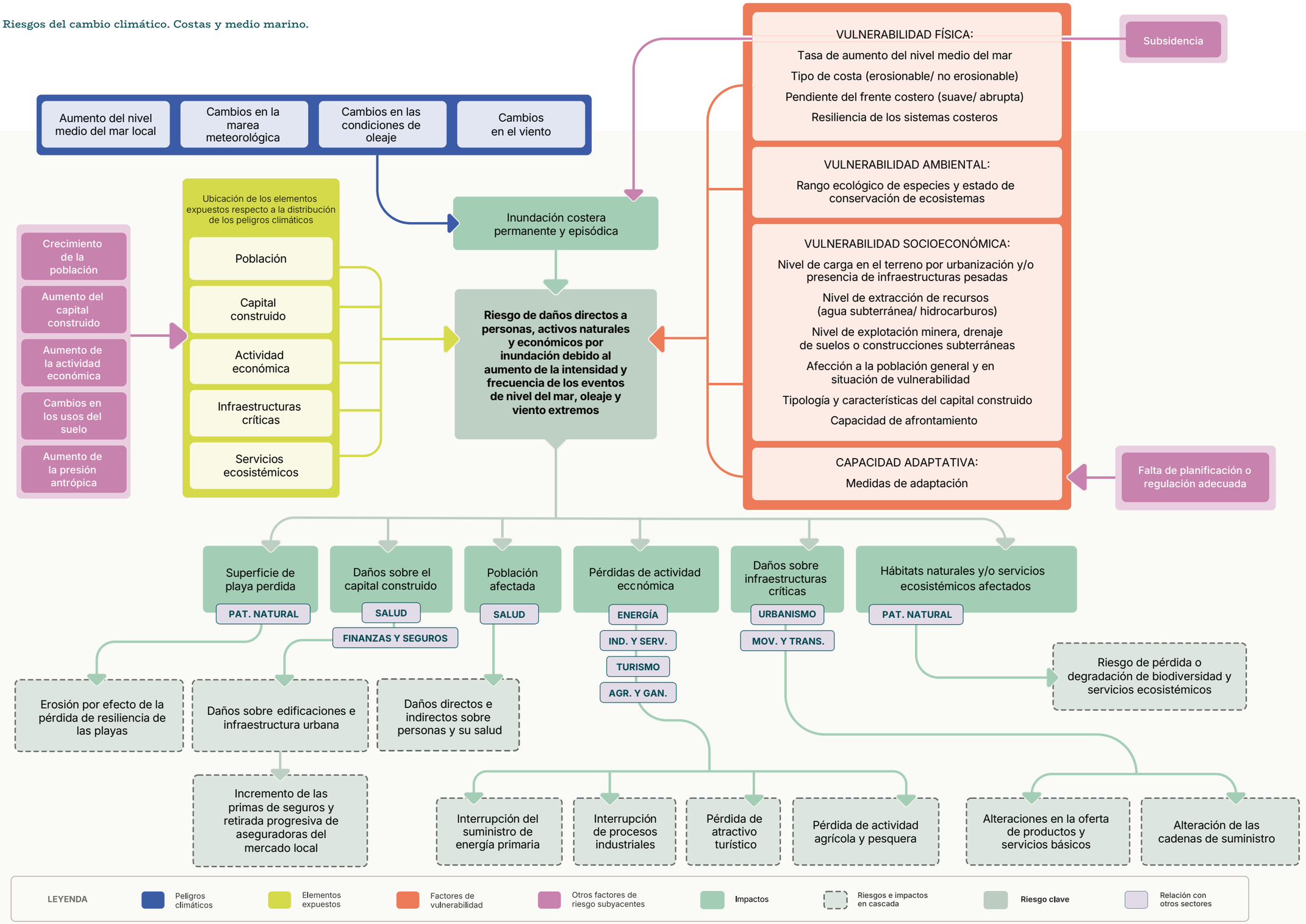


Figura 5. Cadena de impactos para el riesgo de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

El riesgo de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido a eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos está vinculado a la combinación de múltiples **peligros**, tanto climáticas como no climáticas. Entre los peligros de origen climático se encuentra el aumento del nivel medio del mar local, impulsado por la expansión térmica del océano, la pérdida de masa de glaciares y capas de hielo, y los cambios en el almacenamiento de agua terrestre (Fox-Kemper *et al.,* 2021). A ello se suman los cambios proyectados en la marea meteorológica, asociados a patrones regionales de presión atmosférica y viento, y en el régimen de oleaje, cuya energía y dirección pueden variar según el forzamiento climático (IPCC, 2022). La marea astronómica, aunque no es un peligro en sí mismo, puede actuar como factor agravante cuando la pleamar coincide con estos eventos extremos, amplificando sustancialmente la altura del nivel del mar alcanzado en costa (Toimil *et al.,* 2017b). Por otro lado, la subsidencia, proceso no climático, contribuye a incrementar el nivel relativo del mar en zonas costeras bajas por hundimiento del terreno, ya sea por compactación natural de sedimentos o por actividades humanas como la extracción de aguas subterráneas o hidrocarburos (Nicholls *et al.,* 2021). La interacción entre estos peligros da lugar a una doble manifestación del riesgo: por un lado, la inundación costera permanente y el correspondiente retranqueo de la línea de costa media debido al aumento del nivel medio del mar, y por otro, la inundación episódica sobre ese nuevo nivel base, vinculada a eventos extremos (Ranasinghe, 2016). Esta superposición de procesos incrementa la extensión del área afectada, reduce los márgenes de protección disponibles y compromete la planificación costera, los ecosistemas y la seguridad de la población expuesta.

La **exposición** en relación con el riesgo de inundación costera asociada a eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento está condicionada por presencia y concentración de población, capital construido, actividad económica, infraestructuras críticas y servicios ecosistémicos en áreas litorales bajas susceptibles de verse afectadas durante estos episodios (Glavovic *et al.,* 2022; Rosenzweig *et al.,* 2022). A diferencia de la inundación de carácter permanente, este riesgo se manifiesta puntualmente durante eventos meteorológicos extremos que elevan transitoriamente el nivel del mar, y tras los cuales el agua del mar regresa a sus condiciones medias. Durante estos eventos, se producen daños emergentes sobre edificaciones e infraestructuras (que requieren reparación, sustitución o reconstrucción parcial), así como pérdidas de actividad económica derivadas de la interrupción de servicios o de la inoperatividad temporal de las instalaciones, lo que se traduce en una pérdida de ingresos durante el periodo de inactividad, también denominada lucro cesante (Toimil *et al.,* 2017b). Las zonas urbanas densamente ocupadas concentran elementos expuestos de gran valor económico y funcional. La población puede sufrir daños personales, evacuaciones o restricciones de acceso e incluso afrontar pérdidas de vidas humanas; el capital construido, que incluye edificios de viviendas, comercios e instalaciones industriales, está sujeto a inundaciones exteriores e interiores, colapsos estructurales o deterioro acelerado; la actividad económica, en particular el turismo, el comercio o la agricultura intensiva, se puede ver afectada

por interrupciones o pérdidas de productividad; las infraestructuras críticas, como redes viarias, sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua, transporte público o distribución eléctrica, pueden quedar inoperativas parcial o totalmente, ocasionando impactos regionales; y los servicios ecosistémicos, como la protección costera, la calidad del agua o la biodiversidad, pueden deteriorarse por sobrecarga física, intrusión salina o contaminación difusa.

A esta situación se suma la ocupación del DPMT mediante concesiones residenciales en áreas altamente expuestas a temporales marítimos, especialmente en algunos tramos del litoral mediterráneo y atlántico andaluz. La presencia de viviendas sobre el DPMT no solo incrementa la exposición y el riesgo, sino que también dificulta la gestión adaptativa del espacio litoral. Según Ros (2025), habría 86 426 edificaciones situadas dentro del DPMT en toda España, de las cuales más de la mitad (53,4 %) serían viviendas residenciales. La superficie total ocupada ascendería a 66,94 km², destacando que Andalucía tendría unos 18,58 km² y Galicia alrededor de 15,04 km², mientras que Murcia alcanzaría 1,88 km². Por usos del suelo, alrededor del 17,45 % de las construcciones se destinarían a servicios públicos, el 12 % serviría para usos industriales y el 10 % tendría fines comerciales[7]. En Andalucía, el portal de la Junta de Andalucía (2025) permite consultar las resoluciones de concesión y contabiliza 1.025 concesiones vigentes en 2025, dato que subraya la magnitud de la ocupación en esa comunidad.

En las comunidades autónomas del norte de España (Galicia, Principado de Asturias, Cantabria, País Vasco), los temporales atlánticos de invierno, caracterizados por fuerte oleaje y viento, pueden coincidir con pleamares astronómicas, lo que intensifica el nivel del mar alcanzado por forzamientos atmosféricos (IHCantabria, 2017, 2021a; IHOBE, 2022). Esta concurrencia de factores se manifestó de forma severa durante el invierno de 2013-2014, cuando una sucesión de temporales extremos provocó inundaciones generalizadas y daños valorados en más de 70 millones de euros a lo largo de la fachada cantábrica. En el litoral mediterráneo, aunque el oleaje tiende a ser de menor magnitud que en la fachada atlántica, la escasa pendiente de la costa —con variabilidad intrarregional, desde sectores llanos y de plataforma continental amplia (p. ej., delta del Ebro y costa valenciana) hasta tramos más abruptos y de plataforma estrecha (p. ej., costa almeriense)—, la urbanización intensiva, la limitada capacidad de los sistemas de drenaje urbano y la amplia plataforma continental favorecen episodios de inundación intensa durante tormentas locales o eventos de marea meteorológica combinados con viento persistente (Ballesteros *et al.*, 2018). Este patrón quedó patente durante el temporal Gloria (enero de 2020), que batió récords de oleaje y generó inundaciones y erosión generalizadas en el arco mediterráneo, con impactos

[7] Para elaborar estas cifras, Newtral Data descargó el conjunto de 12,46 millones de edificios del Catastro y cruzó su posición con las líneas del dominio público marítimoterrestre del MITECO (2025), considerando en riesgo toda edificación que interseca la línea o se sitúe entre ella y el mar; el País Vasco quedó excluido por no estar integrado en el catastro.

severos en la Comunidad Valenciana, Baleares y el delta del Ebro (Amores *et al.,* 2020; De Alfonso *et al.,* 2021; Cabezas-Rabadán *et al.,* 2024). Adicionalmente, factores como el crecimiento poblacional en zonas costeras, el aumento del capital construido en áreas expuestas, la expansión de actividades económicas vulnerables, los cambios en los usos del suelo (especialmente hacia urbanización) y la presión antrópica sobre espacios naturales incrementan progresivamente la exposición, reduciendo los márgenes operativos de respuesta y aumentando el coste potencial de cada evento (Rosenzweig *et al.,* 2022; IPCC, 2022).

La **vulnerabilidad** en relación con el riesgo de inundación costera inducida por eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento está determinada por la interacción de factores físicos, socioeconómicos, ambientales y de capacidad adaptativa. Desde el punto de vista físico, la tasa de aumento del nivel medio del mar local es un condicionante clave: cuanto mayor sea su tasa, menor será el tiempo disponible entre eventos extremos para que los sistemas costeros se recuperen, lo que incrementa progresivamente la exposición acumulada al impacto. Asimismo, el tipo de costa y su morfología influyen decisivamente en la intensidad de los daños. Las costas de baja pendiente y sustrato erosionable, como playas, marismas o deltas, son más susceptibles a la penetración del agua durante episodios extremos, y presentan una baja capacidad para disipar la energía del oleaje. En regiones como el delta del Ebro o el cordón litoral de La Manga del Mar Menor, la limitada capacidad de recuperación natural de los sistemas sedimentarios frente a temporales intensos agrava la pérdida de superficie y la magnitud de los impactos posteriores (Sánchez-Arcilla *et al.,* 1998).

En el plano socioeconómico, inciden los umbrales de afectación a la población (es decir, la profundidad o duración de la inundación a partir de la cual se producen impactos directos sobre las personas), así como por la presencia de colectivos especialmente sensibles, como menores, personas mayores o con movilidad reducida, cuya capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia es limitada (Rosenzweig *et al.,* 2022), así como personas recién llegadas sin conocimiento local del territorio o que no dominan el idioma, lo que puede dificultar la comprensión de las alertas y la evacuación en condiciones seguras. Asimismo, las características del capital construido, incluyendo su uso, antigüedad y el cumplimiento de normativas de edificación, influyen de forma decisiva en la magnitud del daño y en la velocidad de recuperación tras un evento meteorológico extremo (Martínez-Gomariz *et al.,* 2019). Esta vulnerabilidad se ve reforzada cuando las infraestructuras no están diseñadas para resistir condiciones climáticas futuras o cuando la actividad económica depende de instalaciones costeras críticas (Sierra *et al.,* 2016). La actividad económica también presenta variabilidad en su respuesta, dependiendo de factores como la diversificación sectorial, acceso a seguros o liquidez financiera (Filatova *et al.,* 2011). Adicionalmente, la vulnerabilidad se agrava por procesos de subsidencia, vinculados a la carga del terreno por construcciones pesadas, extracción de agua subterránea o hidrocarburos, actividad minera, drenaje de humedales o estructuras subterráneas; fenómenos que aceleran el hundimiento y elevan el nivel relativo del mar (Nicholls *et al.,* 2021).

En lo que respecta a la vulnerabilidad ambiental, los ecosistemas litorales presentan umbrales fisiológicos y funcionales que pueden ser superados durante eventos extremos. La repetición de episodios intensos, con mayores niveles del mar y menor tiempo de recuperación entre ellos, puede causar pérdida de hábitat, mortalidad de especies y degradación de funciones ecológicas clave, como la protección natural frente a inundaciones o la captura de carbono. Los hábitats de zonas intermareales, como marismas o praderas de fanerógamas marinas, son especialmente sensibles a estos desequilibrios, al verse sometidos a mayores columnas de agua, reducción de la luz disponible y estrés mecánico por el oleaje (Möller *et al.,* 2014). Estudios recientes demuestran que las praderas de fanerógamas marinas, como Posidonia o Zostera, sufren mortalidad y pérdida de cobertura tras tormentas intensas y olas elevadas, debido a la erosión y falta de suficiente luz para sostener funciones primarias (Oprandi *et al.,* 2020). Además, las marismas presentan una tasa de secuestro de carbono sensible a la erosión física y a la pérdida progresiva de elevación relativa, lo que reduce su resiliencia y potencial de mitigación climática (Schuerch *et al.,* 2018; Kroeger *et al.,* 2017).

Finalmente, la capacidad adaptativa condiciona de forma decisiva la vulnerabilidad de un territorio (Ferro-Azcona *et al.,* 2019; Whitney *et al.,* 2017). La falta de implementación efectiva de medidas de adaptación, como sistemas de drenaje sostenible, restauración de playas y dunas, barreras temporales o el diseño de infraestructuras resilientes al clima, incrementa la susceptibilidad de los sistemas costeros frente a la inundación por eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento. En gran parte de la costa española la planificación urbanística aún no incorpora adecuadamente los escenarios climáticos extremos ni regula la ocupación del DPMT conforme a los riesgos futuros, lo que puede favorecer desarrollos significativamente vulnerables y compromete la eficacia de las intervenciones de adaptación (MITECO, 2017; Losada *et al.,* 2019).

El riesgo de daños directos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento conlleva una serie de **impactos biofísicos y socioeconómicos** de carácter episódico. Entre los impactos físicos destaca la pérdida temporal de superficie de playa durante los eventos extremos, que, si bien puede recuperarse parcialmente en condiciones de calma, afecta a su funcionalidad protectora y recreativa (Toimil *et al.,* 2018; Toimil *et al.,* 2023). En cuanto a la población, los eventos extremos de inundación pueden generar la pérdida de vidas humanas, daños materiales en viviendas, aislamiento temporal, evacuaciones y disrupciones en la vida cotidiana, especialmente en zonas urbanas costeras densamente pobladas (Elmer *et al.,* 2012; Ebi *et al.,* 2021). Los daños sobre el capital construido se manifiestan en forma de desperfectos en edificios y estructuras residenciales, comerciales, industriales o relacionadas con el sector servicios que requieren reparación o sustitución, con un coste directo asociado. Al mismo tiempo, la interrupción de actividades económicas durante y después del evento conlleva afectaciones notables en sectores como el turismo, el comercio o la pesca, que dependen de la continuidad operativa (Ranasinghe *et al.,* 2021). Las infraestructuras

críticas, como redes de transporte, suministro eléctrico, centros de salud o educación, pueden sufrir daños estructurales y funcionales, lo que conlleva impactos sistémicos: por ejemplo, la interrupción del transporte puede impedir el acceso a servicios de emergencia o afectar las cadenas de suministro (Nirandjan *et al.,* 2024). Los hábitats naturales y los servicios ecosistémicos que prestan, como la disipación del oleaje, la depuración del agua o la provisión de hábitats para especies marina, pueden deteriorarse por la acción del oleaje o el incremento de la salinidad y turbidez (Cooley *et al.,* 2022). Ecosistemas intermareales como las marismas o las praderas de fanerógamas marinas son especialmente vulnerables a este tipo de impactos episódicos, cuya recurrencia puede comprometer su recuperación ecológica (Mandiola *et al.,* 2025).

Los resultados del proyecto PESETA IV y del programa PIMA Adapta-Costas (MAPAMA, 2020b) ponen de manifiesto la magnitud del riesgo de inundación costera por eventos extremos de nivel del mar y oleaje en España, tanto en términos de población afectada como de impactos económicos y funcionales. Según el proyecto PESETA IV, el número de personas expuestas anualmente a inundaciones costeras podría aumentar de 8.100 en 2015 (base) a entre 54.000 y 68.800 en 2050, y hasta 141.200 (RCP4.5) o 179.500 (RCP8.5) en 2100, en ausencia de medidas de adaptación (Feyen *et al.,* 2020). Los datos desagregados del programa PIMA Adapta-Costas reflejan una distribución territorial del riesgo: para un evento de periodo de retorno de 100 años en 2050, se estima la exposición de más de 15.000 personas en el País Vasco (IHOBE, 2022) y en las Islas Canarias (GRAFCAN, 2022), 5.800 en el Principado de Asturias (IHCantabria, 2017), y entre 1.200 y 2.700 personas en Cantabria (IHCantabria, 2021a), la Comunidad Valenciana (visor PIMA-Adapta-Valencia), las Islas Baleares (SOCIB, 2021) y la región de Murcia (IHCantabria, 2021b). Estas cifras aumentan considerablemente hacia 2100, especialmente bajo el escenario RCP8.5, con estimaciones de hasta 53.800 personas afectadas en Canarias, 40.000 en el País Vasco y más de 13.000 en Baleares.

En términos económicos, los daños anuales estimados por inundación costera en España podrían escalar de 30 millones de euros en el año base hasta 600–800 millones en 2050 y entre 5.300 y 9.900 millones de euros en 2100, dependiendo del escenario de emisiones y la implementación de medidas de adaptación (Feyen *et al.,* 2020). A escala autonómica, destacan los potenciales daños en 2050 de hasta 920 millones de euros en Canarias, más de 2.000 millones en el País Vasco, y decenas de millones en regiones como el Principado de Asturias, Murcia y Cantabria. Hacia 2100, los impactos económicos proyectados alcanzan los 5.000 millones de euros en Canarias, 1.600 millones en el País Vasco y más de 600 millones en Asturias. A ello se suman afectaciones relevantes en infraestructuras críticas, como aeropuertos (Cataluña, la Comunidad Valenciana y el País Vasco), redes de transporte (Andalucía, el Principado de Asturias, Cantabria, Cataluña, la Comunidad Valenciana, las Islas Baleares y las Islas Canarias), instalaciones energéticas, centros educativos y sanitarios. Las zonas bajas, como deltas, marismas y áreas urbanas costeras (p. ej., Valencia, Mar Menor), concentran una parte significativa del riesgo, en un contexto de degradación ecológica preocupante: más del 60 % de las zonas húmedas

originales en España han desaparecido y el 76 % de los hábitats de interés comunitario ligados a estos ecosistemas presentan un estado de conservación desfavorable (MITECO, 2023). La Figura 6 muestra el nivel de riesgo sectorial agregado para diferentes horizontes temporales y escenarios que combinan eventos extremos futuros y el aumento del nivel medio del mar (IHCantabria, 2021b).

Figura 6. Ejemplo del nivel de riesgo por impactos costeros para diferentes escenarios y horizontes temporales. Combinación de aumento del nivel medio del mar y eventos extremos. Fuente: PIMA Adapta-Murcia (IHCantabria, 2021b).

El riesgo de inundación costera derivado del aumento de la intensidad y frecuencia de eventos extremos produce **riesgos en cascada** que trascienden el daño inmediato. En el ámbito del patrimonio natural, la erosión acelerada debida a la pérdida de resiliencia de las playas tras episodios sucesivos es crítica; durante los temporales de febrero y marzo de 2014 en la costa cantábrica, varias playas y dunas no mostraron recuperación incluso tres años después, evidenciando el umbral irreversible superado en su capacidad de restauración (Toimil *et al.,* 2017; Garrote *et al.,* 2018). Este proceso erosivo contribuye también a la degradación de la biodiversidad y a la pérdida de servicios ecosistémicos, particularmente en marismas y praderas marinas sometidas a un entorno más salino y estrés mecánico del oleaje (Piñeiro-Corbeira *et al.,* 2016; Ramos *et al.,* 2016). En el sector salud, este tipo de inundaciones episódicas pueden provocar brotes de enfermedades transmitidas por el agua (p. ej., leptospirosis y enfermedades gastrointestinales), agravar enfermedades crónicas por la exposición al frío o la humedad y aumentar la demanda de atención sanitaria; tras eventos extremos similares, se han documentado picos significativos en la ocupación hospitalaria y consultas por infecciones respiratorias y dermatológicas (U.S. Global Change and Health Report, 2016). En cuanto al urbanismo, las inundaciones afectan directamente a edificaciones y equipamientos urbanos, generan aislamientos temporales y obstaculizan el acceso a servicios básicos como el agua potable, electricidad o saneamiento, lo que conlleva disrupciones prolongadas en la vida cotidiana urbana (Glavovic *et al.,* 2022). Asimismo, los sectores de energía, industria y servicios, así como el turismo y las actividades primarias (agricultura y ganadería), enfrentan interrupciones temporales en procesos productivos, daños en instalaciones, pérdida de cosechas y de recursos turísticos naturales (Gopalakrishnan *et al.,* 2019). Por ejemplo, los temporales pueden anegar infraestructuras agrícolas costeras, dañando cultivos sensibles a la salinidad y alterando la oferta turística de playas y entornos protegidos (Toimil *et al.,* 2018). Finalmente, en lo que respecta al transporte, las infraestructuras lineales como carreteras, puertos y aeropuertos pueden quedar inoperativas por inundaciones o daños estructurales, lo que interrumpe las cadenas de suministro y afecta gravemente la movilidad de mercancías y personas (Ridha *et al.,* 2022).

Ficha 2. Análisis del riesgo de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debida al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Sustancial	Crítica	Catastrófica
	De acuerdo con PESETA IV, unas 8.100 personas/año están expuestas hoy a inundaciones costeras por eventos extremos y los daños anuales se sitúan en torno a 30 M€, por debajo del 0,01 % del PIB nacional. La afectación es localizada en tramos de baja cota y en enclaves con defensas insuficientes o degradadas.	Bajo un temporal de referencia (Tr=100) sobre una línea de costa ya algo más elevada, se generalizan las inundaciones en deltas, marismas y frentes urbanos de múltiples CCAA. Los mapas PIMA muestran miles a decenas de miles de personas afectadas en conjunto y daños agregados nacionales en el rango 0,01–0,1 % del PIB, con cierres operativos recurrentes e impactos funcionales en transporte y servicios básicos.	Bajo el mismo temporal hacia 2050, la exposición humana supera con holgura las decenas de miles: >15.000 personas en País Vasco y >15.000 en Canarias, 5.800 en Asturias y 1.200–2.700 en Cantabria, C. Valenciana, Baleares y Murcia (≥ 41.000–49.000 personas solo con estas CCAA). Los daños directos por episodio suman >3.000 M€ (>2.000 M€ País Vasco + hasta 920 M€ Canarias + decenas de millones en otras), situando el impacto nacional entre 0,1 y 1 % del PIB. La huella espacial abarca cientos de kilómetros de costa y se producen interrupciones de infraestructuras críticas.	A finales de siglo, el mismo temporal actúa sobre un nivel del mar más alto y una costa más expuesta por degradación acumulada. Las cifras mínimas alcanzan 53.800 personas afectadas en Canarias, 40.000 en País Vasco y >13.000 en Baleares. En España, la población afectada podría escalar a las centenas de miles. En daños, el subtotal con datos (~7.200 M€: 5.000 M€ Canarias + 1.600 M€ País Vasco + >600 M€ Asturias) se supera al agregar el resto de CCAA, rebasando el 1 % del PIB (≥15.000 M). Se considera catastrófico debido a toda la cadena de impactos acumulativos y sistémicos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	**Actual**	**Corto plazo** 2021-2040 (1,5 °C)	**Medio plazo** 2041-2060 (2 °C)	**Largo plazo** 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	**Alto** ◆◆◆ · Alta · Alto	**Alto** ◆◆◆ · Alta · Alto	**Medio** ◆◆ · Media · Medio	**Medio** ◆◆ · Media · Medio
	Datos de eventos extremos recientes (PESETA IV, PIMA Adapta-Costas), buena base histórica. Alta coherencia en tendencias y magnitud de exposición actual.	Extrapolación de tendencias a muy corto plazo y proyecciones con modelos climáticos a corto plazo. Consenso científico alto en el cambio en la frecuencia/ intensidad de eventos extremos.	Mayor rango de incertidumbre en los cambios en la circulación atmosférica y, por tanto, en los modelos climáticos. Dependencia de la evolución socioeconómica. Consenso científico en la tendencia, pero algunas discrepancias en la magnitud regional.	Incertidumbre significativa en las proyecciones de eventos extremos y de aumento del nivel medio del mar relativo. Gran incertidumbre en las proyecciones socioeconómicas. Consenso científico general en dirección de cambio, dispersión alta en magnitud.

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Aumento del nivel medio del mar relativo, compuesto por el aumento del nivel medio del mar local y la subsidencia del terreno, y eventos extremos de nivel del mar (marea meteorológica y marea astronómica), oleaje y viento. Esta combinación de factores resulta en inundación costera permanente y episódica. Es decir, se produce una sobreelevación temporal del nivel medio del mar sobre una línea de costa que ha retrocedido.	Población, capital construido, actividad económica, infraestructuras críticas y servicios ecosistémicos.	Tasa de aumento del nivel medio del mar local, nivel de subsidencia, nivel de implementación de medidas de adaptación, tipo de costa, pendiente del frente costero, resiliencia de los sistemas costeros, umbrales de supervivencia de ecosistemas, umbrales de afección a la población (y tipos de población), tipología y características del capital construido y capacidad de afrontamiento.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Este riesgo tiene un componente eminentemente local o regional, pero los daños repetidos pueden generar efectos indirectos transfronterizos, como presión migratoria desde zonas costeras altamente expuestas, afectación de rutas de transporte marítimo internacional, o interrupciones en cadenas de suministro globales asociadas a infraestructuras productivas situadas en áreas inundables.
Territoriales	Impactos relevantes en la planificación territorial costera. Necesidad de redefinir zonas urbanas seguras, reasignación de usos del suelo, restricciones de edificación en áreas inundables y planificación de infraestructuras críticas más resilientes. Afecta especialmente a núcleos urbanos densos y corredores logísticos próximos a la costa, con potencial de conflictividad local.
Sociales	Riesgo de aislamiento temporal de comunidades costeras, evacuaciones, pérdida de bienes materiales y medios de vida. Afectación de la seguridad alimentaria y del acceso a servicios básicos. Brotes de enfermedades transmitidas por el agua y estrés mental post-evento. Incremento de la vulnerabilidad de hogares con menor capacidad de recuperación económica.
Maladaptación	Medidas de defensa rígidas o sobredimensionadas pueden alterar dinámicas litorales, incrementar la erosión en tramos adyacentes o generar falsas percepciones de seguridad que incentivan la urbanización en zonas de alto riesgo.
Género	El impacto diferenciado puede darse por roles de cuidado y condiciones socioeconómicas: mujeres y niñas enfrentan mayores dificultades para evacuar y para acceder a servicios sanitarios y de alojamiento seguros tras un evento extremo (Thurston *et al.,* 2021). La destrucción de medios de vida y redes de apoyo comunitario agrava desigualdades preexistentes y puede aumentar la exposición a violencia de género.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	El umbral viene establecido por la vulnerabilidad de la población y los elementos expuestos. Para un evento de la misma intensidad, los daños pueden ser mucho mayores donde la población tiene menor capacidad de respuesta (p. ej., población envejecida o dependiente o grupos con menor capacidad económica), el tipo de capital construido o donde ese capital construido es más frágil (p. ej., si está compuesto de materiales menos resistentes). Los umbrales incluyen la superación de capacidades de evacuación y protección costera durante eventos extremos y la sobrecarga de infraestructuras críticas.
Lock-in/Bloqueo	Urbanización en zonas inundables y barreras físicas que agravan efectos locales. Percepción de falsa seguridad por defensas rígidas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Existe una Estrategia Española de Adaptación de la Costa (MITECO, 2017) y planes de adaptación para zonas geográficas específicas o ciudades. Existen sectores específicos del ámbito del transporte, infraestructura energética, turismo u otros que han analizado medidas de adaptación específicas, tanto en el sector público como privado. Existe un amplio margen para fortalecer la implementación de medidas de adaptación. Algunos de estos elementos los cubre el Consorcio de Compensación de Seguros. Las herramientas de aplicación incluyen los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI), que incorporan la inundación costera; planes de emergencias, sistemas de alerta temprana, mejoras en obras de protección y drenaje urbano. Asimismo, la gestión del DPMT constituye un elemento clave, ya que su ocupación por edificaciones e infraestructuras en zonas de alta peligrosidad dificulta la reducción del riesgo y la recuperación del litoral. En este sentido, resulta fundamental avanzar hacia una planificación integrada que incorpore mecanismos de desalojo planificado, reubicación y permuta de terrenos tierra adentro, en el marco de reformas legislativas y de una cooperación efectiva entre la administración estatal y los municipios costeros.
Gobernanza de gestión del riesgo	La actualización de los planes de emergencia a nivel municipal y autonómico permite incorporar escenarios de mayor intensidad y frecuencia. La coordinación entre niveles de gobierno es fundamental para gestionar infraestructuras críticas, servicios básicos y protección civil de forma eficaz. La incorporación del riesgo de inundación en los instrumentos de ordenación del territorio contribuye a reducir la exposición de los usos del suelo. El refuerzo de los sistemas de alerta temprana mejora la preparación ante eventos extremos, especialmente en comunidades locales y sectores vulnerables. El desarrollo de mecanismos financieros y de seguros adaptados al riesgo climático es clave para avanzar en la resiliencia costera.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Reducción de daños materiales y pérdidas humanas. Implementar infraestructuras de protección y restauración de ecosistemas que actúan como barreras naturales frente la inundación de eventos extremos. Protección de infraestructuras críticas. Es necesario garantizar la protección de puertos, redes de transporte y servicios básicos con diseños resilientes. Aumento de la resiliencia económica. Menor interrupción de actividades clave como el turismo o la pesca. Cohesión social. Mayor seguridad para comunidades costeras vulnerables. Co-beneficios ambientales. Restaurar marismas, dunas y humedales contribuye a la biodiversidad. Mejora de la planificación urbana. Relocalización planificada y rediseño de zonas de expansión para evitar aumentar la exposición frente al impacto de inundación ante escenarios de cambio climático.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Soluciones grises frente a soluciones verdes. Las obras de defensa tradicionales (espigones, diques) pueden generar emisiones significativas, mientras que soluciones basadas en la naturaleza tienen una huella de carbono más baja y actúan como sumideros. • Transporte y logística. Rediseñar accesos puede ayudar a mantener cadenas logísticas con menor huella de carbono ante eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento. • Adaptación transformadora. Evitar la reconstrucción reiterada tras daños reduce emisiones indirectas asociadas a materiales y maquinaria. • Sinergias con mitigación. Los proyectos de restauración de ecosistemas costeros pueden captar carbono y proteger frente a inundaciones, potenciando el secuestro de carbono azul en marismas y praderas marinas.
Déficits de información	Datos de exposición y vulnerabilidad. Falta de información geoespacial de activos críticos (p. ej., industria, viviendas e infraestructuras) expuestos a escenarios de cambio climático. Indicadores sociales. La información sobre la vulnerabilidad diferencial de la población (p. ej., edad, nivel socioeconómico, movilidad) es muy limitada. Valoración de daños indirectos. Escasa cuantificación de pérdidas económicas por interrupción de actividades (p. ej., turismo, industria y comercio). Bases de datos históricas. Registros incompletos de eventos pasados para validar los análisis de riesgo.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un seguimiento periódico. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.3. RC6.3. Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

El riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias, como consecuencia del aumento en la intensidad y frecuencia de los eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento, se manifiesta principalmente en zonas portuarias expuestas del litoral español, especialmente en aquellas que no han sido diseñadas para soportar condiciones climáticas más severas que las consideradas en su planificación original (Losada *et al.,* 2019). Este riesgo se materializa a través de la sobreelevación de nivel del mar durante tormentas, el impacto de oleaje de mayor energía sobre diques y escolleras, y el efecto del viento, lo que conduce a la pérdida temporal de operatividad de terminales, la interrupción del transporte de mercancías y pasajeros, así como al cierre preventivo de instalaciones (Izaguirre *et al.,* 2021; Verschuur *et al.,* 2023). Estos eventos extremos pueden provocar daños estructurales en infraestructuras de protección como diques, espigones o muelles, así como en el equipamiento portuario (grúas, defensas, pasarelas), comprometiendo la seguridad y continuidad de las actividades logísticas (Portillo *et al.,* 2022; Verschuur *et al.,* 2023). La degradación progresiva de estas infraestructuras por una repetida exposición a condiciones extremas, unida a la reducción de las ventanas de operación seguras, puede derivar en una pérdida de competitividad y funcionalidad del sistema portuario, sobre todo en puertos de interés estratégico o de difícil acceso alternativo (Becker *et al.,* 2018). Este riesgo adquiere mayor relevancia en contextos de subsidencia local, como en determinados tramos de la costa mediterránea, y en instalaciones portuarias de pequeña escala sin capacidad técnica ni financiera para acometer medidas de adaptación (León-Mateos *et al.,* 2019; Sierra, 2019). Además, puede generar efectos en cascada significativos sobre sectores como el transporte, la industria y los servicios, el turismo y la paz, seguridad y cohesión social.

Se trata de un riesgo relevante para la totalidad de las comunidades autónomas españolas con litoral. Este riesgo se acentúa especialmente en aquellos tramos donde las infraestructuras presentan deficiencias de mantenimiento o estándares de diseño inferiores a las nuevas condiciones extremas proyectadas. En España existen 27 puertos de interés general gestionados por el Estado y más de 380 puertos autonómicos que, en conjunto, ocupan una fracción muy reducida del territorio nacional, pero concentran actividades económicas, logísticas y estratégicas fundamentales. A pesar de su limitada extensión física, su exposición directa a eventos extremos los convierte en elementos críticos del sistema costero. Además, los eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento ya están provocando inundaciones costeras más frecuentes en el suroeste de Europa

(C3S, 2022), y se prevé que aquellos que en el pasado se producían una vez por siglo ocurran al menos una vez al año en numerosos emplazamientos hacia mitad de siglo, independientemente del escenario de emisiones (Fox-Kemper *et al.,* 2021). Este aumento de la frecuencia de eventos extremos pone en riesgo la operatividad de los puertos y de las infraestructuras de defensa asociadas, especialmente en zonas donde no se han actualizado los umbrales de diseño frente al cambio climático (Sierra *et al.,* 2023).

La **Figura 7** muestra la cadena de impactos vinculada a este riesgo clave, estructurada en torno a peligro, la exposición y la vulnerabilidad.

El riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras portuarias y de protección costera está condicionado por un conjunto de **peligros** climáticos que, actuando conjuntamente, intensifican los impactos sobre estas instalaciones. Entre los peligros climáticos, el aumento del nivel medio del mar local (resultado de la expansión térmica del océano, la pérdida de masa de glaciares y capas de hielo, y cambios en la circulación oceánica) eleva el plano base sobre el que actúan las mareas y el oleaje (Fox-Kemper *et al.,* 2021), de modo que eventos que antes no comprometían la operatividad portuaria ahora pueden provocar rebase o inundación. Este ascenso gradual se combina con fenómenos de marea astronómica, que incrementan periódicamente el nivel del mar, y con la marea meteorológica inducida por tormentas (debida a presión atmosférica baja y viento sostenido), que pueden superponerse generando episodios de nivel del mar extremo. Además, el oleaje intenso y los vientos fuertes pueden provocar agitación interior en dársenas, dificultar maniobras de atraque y carga, o incluso impedir el uso del puerto en condiciones seguras (Becker *et al.,* 2020; Sierra *et al.,* 2023).

A estos peligros se añaden factores subyacentes como la subsidencia del terreno, que agrava el riesgo al aumentar el nivel relativo del mar. Esta puede deberse a cargas excesivas por urbanización, extracción de aguas subterráneas o hidrocarburos o a la consolidación de suelos blandos (Nicholls *et al.,* 2021). En España, se han documentado tasas relevantes de subsidencia en zonas portuarias del Mediterráneo y en el delta del Ebro (Alvarado-Aguilar *et al.,* 2012), donde las infraestructuras están sometidas a un doble forzamiento: ascenso del mar y hundimiento del terreno. El resultado de esta combinación de peligros es un rango de impactos físicos que comprometen las instalaciones de los puertos y su actividad (Verschuur *et al.,* 2023). La sedimentación de canales de acceso, inducida por corrientes longitudinales cuando el oleaje incide oblicuamente sobre la costa, reduce el calado y limita el acceso de embarcaciones. Por otro lado, el rebase del oleaje sobre diques o muelles y la agitación interior de las dársenas en las zonas operativas pueden superar los umbrales de seguridad para la navegación o las maniobras de carga y descarga, con pérdidas económicas por interrupción del servicio (Sierra *et al.,* 2016; Becker *et al.,* 2018; Campos *et al.,* 2019). Además, la exposición repetida a condiciones de diseño superadas puede derivar en

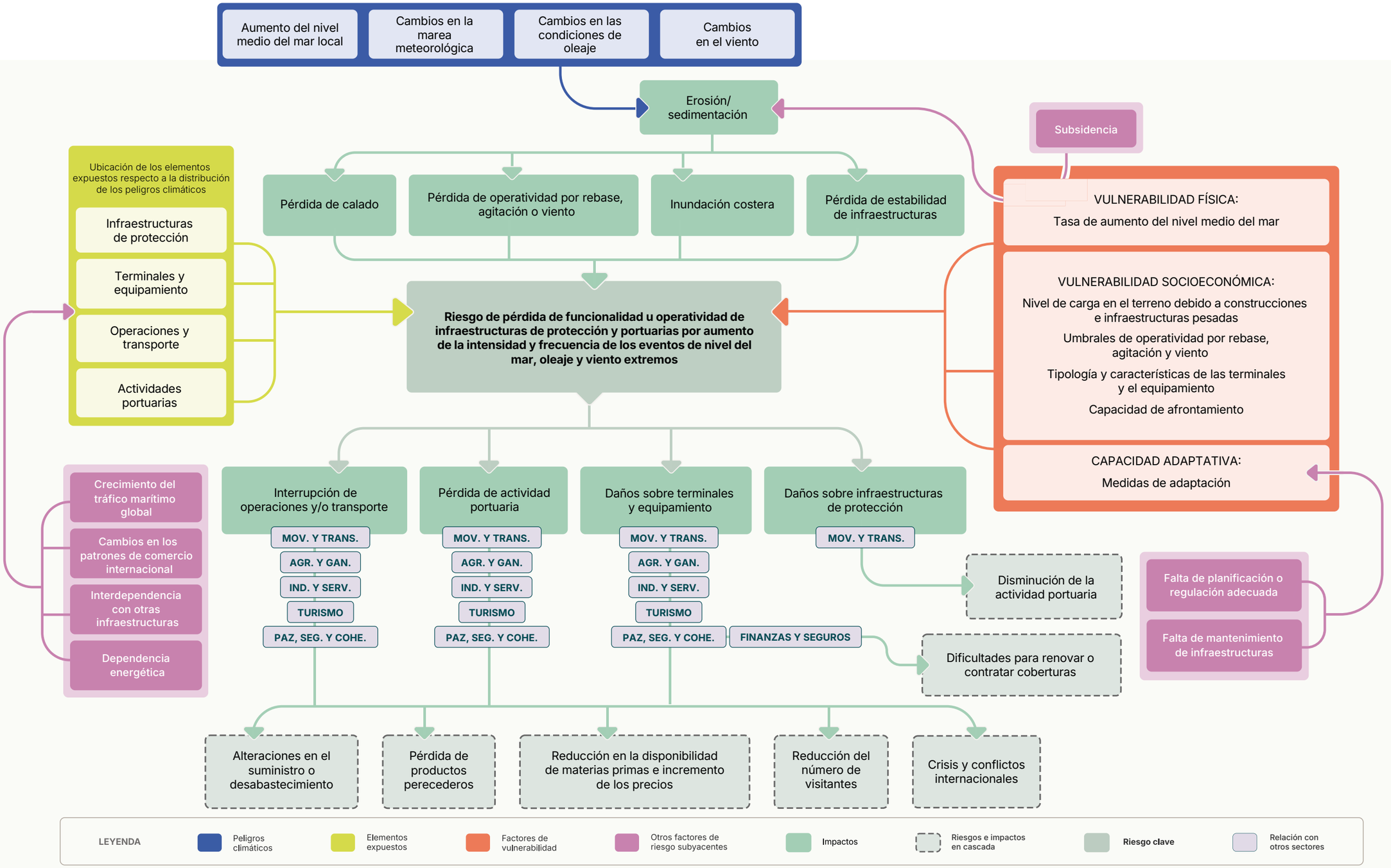


Figura 7. Cadena de impactos para el riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección y portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

la inestabilidad estructural de obras de abrigo, acelerando su deterioro y acortando su vida útil (Lara *et al.,* 2019; Lucio *et al.,* 2024). Estos peligros no sólo incrementan la presión directa sobre las infraestructuras, sino que también modifican las condiciones hidrodinámicas y sedimentarias, pudiendo agravar problemas estructurales y funcionales ya existentes.

La **exposición** en relación con el riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección y portuarias, asociada a eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento, se concentra en varios elementos críticos. Las estructuras de protección costera (diques, escolleras, rompeolas) están diseñadas para disipar la energía del oleaje e impedir el rebase del mar hacia las áreas operativas del puerto. Al estar directamente expuestas a la acción del oleaje, cualquier incremento en la altura de ola, dirección o frecuencia de eventos extremos puede superar sus umbrales de diseño y provocar daños estructurales o pérdida de eficacia (Izaguirre *et al.,* 2021). Las terminales y el equipamiento portuario (muelles, grúas, sistemas de carga y descarga, almacenes, centros logísticos) se localizan en la interfase tierra-mar, en zonas que, si bien pueden estar ligeramente elevadas respecto al nivel medio del mar, son vulnerables frente a la agitación, el rebase o la inundación episódica, dado que el diseño funcional de estas infraestructuras requiere una accesibilidad directa desde el agua (Becker *et al.,* 2018; Campos *et al.,* 2019). La operatividad portuaria depende de condiciones de maniobrabilidad seguras para las embarcaciones, de forma que, cuando estas condiciones se ven superadas por la acción combinada de oleaje y viento, se genera un cese temporal de la actividad, lo que representa una disrupción directa en el servicio. Por último, las actividades económicas vinculadas al tráfico portuario, tanto dentro del recinto portuario como en sus áreas de influencia terrestre (conocido como *hinterland*), pueden experimentar pérdidas derivadas de la interrupción de flujos de mercancías, la afectación de equipamientos logísticos o el bloqueo de accesos (Verschuur *et al.,* 2023). Esta exposición se ve acentuada en puertos de gran capacidad como Algeciras, Valencia o Barcelona, donde se concentran cadenas logísticas de escala global que operan bajo estrictas ventanas temporales. En todos estos casos, la localización en el litoral y la dependencia de condiciones físicas estables para su operatividad hacen que el sistema portuario, aunque diseñado con robustez, esté especialmente expuesto a los efectos de eventos extremos costeros.

El crecimiento sostenido del tráfico marítimo global, impulsado por el aumento del comercio internacional y la intensificación de las cadenas logísticas, ha incrementado la inversión y densidad de activos en entornos portuarios, lo que a su vez eleva la exposición a condiciones de operación más exigentes (Izaguirre *et al.,* 2020). Asimismo, los cambios en los patrones de comercio, como el desplazamiento del eje del comercio energético o la diversificación de rutas por el Ártico o el canal de Suez, están derivando en una mayor concentración de tráfico en determinados puertos estratégicos, que operan con umbrales más ajustados de maniobrabilidad, calado o disponibilidad horaria. Esta presión funcional se ve amplificada por la interdependencia con otras infraestruc-

turas críticas, como redes ferroviarias, nodos logísticos terrestres, sistemas de almacenamiento y distribución de energía o corredores de transporte (Nirandjan *et al.,* 2024), que refuerzan la centralidad de los puertos en la economía regional y nacional. Además, en un contexto de transición energética y electrificación del transporte, muchos puertos acogen infraestructuras de almacenamiento o distribución de combustibles, generación eléctrica o suministro a buques, aumentando su exposición funcional y sistémica a alteraciones por eventos extremos (Mat *et al.,* 2016; Sadiq *et al.,* 2021). Disrupciones en la cadena portuaria pueden afectar a sectores estratégicos dependientes del suministro marítimo, como el transporte, la energía o el abastecimiento de productos fundamentales.

La vulnerabilidad de las infraestructuras portuarias y de protección en relación con este riesgo está condicionada por factores físicos, socioeconómicos y de capacidad adaptativa (Izaguirre *et al.,* 2021). Desde el punto de vista físico, la tasa de aumento del nivel medio del mar relativo es un factor determinante, ya que modifica la línea base sobre la cual actuarán las condiciones extremas, acortando los periodos de retorno de los eventos de nivel del mar y oleaje y reduciendo los márgenes de seguridad estructural (Sierra *et al.,* 2016). Una mayor tasa implica una exposición más frecuente y severa a condiciones que pueden superar los umbrales de diseño de estructuras como diques, muelles o rompeolas (Hanson *et al.,* 2011). Asimismo, el nivel de carga en la superficie del terreno, asociado a la presencia de infraestructuras pesadas como terminales o depósitos, puede contribuir a procesos de subsidencia local, lo que, en combinación con el aumento del nivel medio del mar, intensifica la vulnerabilidad relativa del entorno portuario al reducir la cota efectiva del terreno respecto al nivel del mar, como ya se ha observado en algunos entornos deltaicos, como el Delta del Ebro, donde las tasas de subsidencia estimadas oscilan en gran parte entre 1 y 3 mm/año (ICGC, 2018).

En el plano socioeconómico, los umbrales operativos de las instalaciones portuarias, como los niveles de rebase tolerables, la agitación máxima compatible con maniobras de atraque seguro o los límites de viento para operaciones de carga y descarga, determinan la frecuencia y severidad con la que las actividades portuarias deben interrumpirse ante eventos extremos (Duncan *et al.,* 2017). Cuando dichos umbrales son bajos o se ven superados con facilidad por la nueva climatología marítima, la vulnerabilidad funcional aumenta. La tipología y características de las terminales (material, grado de automatización, exigencias logísticas y tipo de carga) y el equipamiento del puerto (sistemas automatizados, grúas de alta capacidad, centros logísticos sensibles) condicionan tanto la resistencia estructural como la velocidad de recuperación tras un evento disruptivo. La capacidad de afrontamiento, incluyendo los recursos financieros, la existencia de planes de contingencia y la flexibilidad operativa, modula en gran medida el impacto de la disrupción.

Por último, la capacidad adaptativa juega un papel clave. Los puertos que han implementado medidas de adaptación como la elevación de muelles, el refuerzo de diques, la mejora de sistemas

de drenaje y la implementación de sistemas de alerta temprana, cuentan con menor vulnerabilidad operativa (Portillo *et al.,* 2022). En cambio, la ausencia de planificación adecuada, la falta de mantenimiento preventivo de infraestructuras y la escasa integración del cambio climático en los instrumentos de regulación sectorial contribuyen a aumentar la vulnerabilidad sistémica del sistema portuario, especialmente en instalaciones de tamaño medio y pequeño donde los recursos técnicos y financieros son más limitados.

Los **impactos** asociados al riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras portuarias y de protección por el aumento de la intensidad y frecuencia de eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento son tanto **económicos** como **físicos**. Desde el punto de vista económico, la interrupción de operaciones y/o transporte puede derivarse de condiciones de rebase, agitación o viento que superan los umbrales de seguridad portuaria, lo que impide maniobras de atraque, carga o descarga, o directamente obliga al cierre temporal del puerto. Esto puede afectar tanto al tráfico de mercancías como al transporte de pasajeros, con consecuencias inmediatas sobre la cadena logística y el abastecimiento, y puede generar pérdidas económicas significativas derivadas de la interrupción de la actividad (Verschuur *et al.,* 2023). La pérdida de actividad portuaria afecta sobre todo a los puertos de interés general, nodos estratégicos del comercio internacional, la energía o el tráfico de contenedores (como Algeciras, Valencia o Barcelona), pero también a puertos autonómicos o regionales, que cumplen funciones clave en la economía local y en sectores tales como la pesca, el turismo náutico o el transporte interinsular (p. ej., puertos en las Islas Baleares o Canarias) (Izaguirre *et al.,* 2020). Los daños sobre terminales y equipamiento incluyen averías en grúas, pasarelas, sistemas de atraque y amarre, canalizaciones, equipamiento eléctrico y electrónico, así como en sistemas de almacenamiento y distribución, lo que puede conllevar largos periodos de inactividad o reparaciones con un coste económico elevado (Becker *et al.,* 2018). Desde el punto de vista físico, los daños directos sobre infraestructuras de protección, como diques, muelles o rompeolas, se producen cuando estos elementos son sometidos a condiciones de oleaje superiores a las contempladas en su diseño original, ya sea por eventos extremos más energéticos o por la elevación del nivel medio del mar, con la consiguiente reducción del francobordo[8] (Sierra *et al.,* 2023). Estas estructuras pueden sufrir erosión, desplazamientos, fallos en el núcleo o rotura del manto, comprometiendo su integridad y reduciendo su capacidad protectora, lo que puede agravar la exposición y vulnerabilidad del resto del sistema portuario.

Los planes autonómicos de los terrenos de DPMT adscritos a las comunidades autónomas han comenzado a identificar el grado de exposición y riesgo climático que enfrentan los puertos regionales frente al aumento de la intensidad y frecuencia de eventos extremos vinculados al nivel del

[8] Diferencia de cota entre el nivel del mar y la cresta de una defensa costera. Es un parámetro fundamental en el diseño de infraestructuras de protección contra la inundación.

mar, oleaje y viento, así como a cambios en la temperatura y la precipitación. Los impactos físicos considerados en estos análisis incluyen la pérdida de operatividad por superación de umbrales climáticos, la agitación portuaria, el rebase y pérdida de estabilidad de diques, la inundación costera y procesos de sedimentación o aterramiento de canales de acceso, lo que compromete directamente tanto la funcionalidad de las infraestructuras como las actividades económicas asociadas. La información recopilada en algunos pla nes autonómicos permite estimar que, en 2050, podrían encontrarse en situación de riesgo alto o muy alto hasta 35 puertos en Cataluña (CIIR, 2023), 16 en las Islas Baleares (Ports IB, 2021), 12 en el Principado de Asturias (Principado de Asturias, 2021), 3 en Cantabria (IHCantabria, 2021c) y 2 en la región de Murcia (IHCantabria 2021d), dependiendo del escenario de emisiones. Para el horizonte 2100, estas cifras se incrementan de forma notable para escenario de altas concentraciones de gases de efecto invernadero RCP8.5, alcanzando hasta 69 puertos en Cataluña, 49 en Baleares, 17 en el Principado de Asturias, 14 en la región de Murcia y 5 en Cantabria. Estos valores reflejan un peligro creciente para las infraestructuras físicas y los servicios de interés público asociados a los puertos, como el transporte, las comunicaciones o el suministro de mercancías, amplificando el carácter sistémico del riesgo. La Figura 8 muestra el ejemplo del puerto de Luarca, donde se ha evaluado el incremento del riesgo agregado debido al cambio climático en ausencia de medidas de adaptación (Gobierno del Principado de Asturias, 2021).

	2050		2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Δ Daños sobre activos acumulados en el periodo [€]	12.200	25.100	78.800	51.200
Δ Pérdidas de ingresos anualizado en el periodo [€]	2.000	4.700	4.400	6.600
Δ Costes de mantenimiento anualizado en el periodo [€]	5.100	74.900	7.700	101.100
% Δ RIESGO SOBRE ACTIVOS [%]	0,06%	0,13%	0,39%	0,26%
% Δ RIESGO SOBRE INGRESOS [%]	0,02%	0,04%	0,04%	0,06%
%Δ RIESGO SOBRE COSTES DE MANTENIMIENTO [%]	1,45%	21,35%	2,23%	29,32%

Riesgo	% Δ RIESGO SOBRE COSTES DE MANTENIMIENTO O INGRESOS				
% Δ RIESGO SOBRE ACTIVOS	Rango		3%	-	10%
			≤3%	3-10	≥10%
	10%	≥10%	INCREM. ALTO	INCREM. ALTO	INCREM. ALTO
	-	3-10	INCREM. MEDIO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO
	3%	≤3%	INCREM. BAJO	INCREM. MEDIO	INCREM. ALTO

	2050		2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Δ RIESGO	INCREM. BAJO	INCREM. ALTO	INCREM. BAJO	INCREM. ALTO

Figura 8. Ejemplo de resultados de la evaluación del incremento del riesgo debido al cambio climático en el puerto de Luarca en ausencia de adaptación. Fuente: Plan de Adaptación de los Puertos del Principado de Asturias (Gobierno del Principado de Asturias, 2021).

Los impactos físicos y económicos derivados del riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de las infraestructuras de protección y portuarias por eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento pueden desencadenar **riesgos en cascada** que afectan a sectores estratégicos. En el sector del transporte, la interrupción de operaciones portuarias compromete el tráfico de mercancías y pasajeros, interrumpe rutas logísticas clave y puede derivar en desabastecimiento temporal de bienes esenciales, tanto a nivel regional como nacional (Izaguirre *et al.,* 2020, 2021). Estas disrupciones, unidas a la reducción en la disponibilidad de materias primas y al incremento de los costes logísticos, pueden generar aumentos en los precios y afectar de forma significativa a las cadenas de producción y distribución (Becker *et al.,* 2018). En el ámbito de la industria y los servicios, la pérdida de funcionalidad portuaria afecta especialmente a sectores estratégicos como el automovilístico, agroalimentario o energético, altamente dependientes de la logística marítima (Verschuur *et al.,* 2023). El turismo, por su parte, puede verse perjudicado por la reducción del tráfico de cruceros y embarcaciones recreativas, así como por los daños a instalaciones portuarias vinculadas a este sector, generando una caída en el número de visitantes y pérdidas económicas relevantes, especialmente en territorios insulares como las Islas Baleares o Canarias. La perturbación prolongada de la actividad portuaria puede también repercutir en la estabilidad social y geopolítica, a través de la pérdida de medios de vida, la competencia por recursos escasos o incluso crisis y conflictos internacionales derivados de la alteración del comercio global y de la distribución de recursos estratégicos (IPCC, 2022). La creciente interdependencia entre sectores e infraestructuras acentúa el potencial sistémico de este tipo de riesgos. Una afectación localizada puede escalar rápidamente y comprometer el funcionamiento de sistemas económicos y sociales complejos, aumentando la vulnerabilidad de las regiones costeras y generando consecuencias más allá del ámbito portuario (Lawrence *et al.,* 2020).

Ficha 3. Análisis del riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructura de protección portuaria por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto[9]	Limitada	Sustancial	Crítica	Crítica
	Hoy la mayor parte de los puertos conserva márgenes de operatividad. Se registran cierres puntuales por temporales, rebase o agitación en dársena y algunos episodios de aterramiento, pero el impacto económico agregado a escala nacional se mantiene por debajo del 0,01 % del PIB y las interrupciones sistémicas son escasas.	Los planes autonómicos empiezan a señalar puertos con riesgo alto en varios litorales. Aumentan los episodios de superación de umbrales de operatividad (agitación, rebase, inundación de explanadas, dragados extraordinarios y cierres preventivos), con afectación simultánea de varios enclaves y repercusiones logísticas regionales. El impacto económico agregado nacional se sitúa previsiblemente entre el 0,01 % y el 0,1 % del PIB, con primeras disrupciones sistémicas en cadenas de suministro.	Para 2050, los inventarios autonómicos estiman 35 puertos en Cataluña, 16 en Islas Baleares, 12 en Principado de Asturias, 3 en Cantabria y 2 en Región de Murcia en situación de riesgo alto o muy alto. Con cierres recurrentes, necesidad de refuerzos estructurales, dragados adicionales y desvíos logísticos, el impacto agregado a escala nacional se eleva al rango del 0,1 % –1 % del PIB, con problemas persistentes de operatividad y costes de mantenimiento crecientes.	Bajo escenarios de altas emisiones, los puertos en riesgo alto o muy alto aumentan de forma notable: 69 en Cataluña, 49 en Islas Baleares, 17 en Principado de Asturias, 14 en Región de Murcia y 5 en Cantabria, a los que se sumarían otros enclaves de CCAA con exposición elevada. El impacto económico agregado continúa en el rango 0.1 % -1 % del PIB, al combinar pérdidas directas, costes de reparación y refuerzo, y pérdidas por inoperatividad.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[9] Nota metodológica. Se asume que el conjunto del sistema portuario representa ≈ 1 % del PIB. Con un total de ~250–300 puertos, la contribución media por puerto se aproxima a 0,004 % del PIB. Considerando pérdidas parciales anuales, se toma como referencia 0,002 % del PIB por puerto. La estimación agregada se obtiene multiplicando dicho valor por el número de puertos en riesgo alto o muy alto y extrapolando de las 5 CCAA con datos disponibles al total de 10 CCAA costeras. Esta cifra debe interpretarse como aproximación preliminar sujeta a heterogeneidad sectorial y a posibles sesgos de extrapolación.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	**Actual**	**Corto plazo** 2021-2040 (1,5 °C)	**Medio plazo** 2041-2060 (2 °C)	**Largo plazo** 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	**Medio** ◆◆ · Media · Alto	**Medio** ◆◆ · Media · Alto	**Medio** ◆◆ · Media · Medio	**Bajo** ◆ · Baja · Medio
	La información existente es parcial. Estudios locales de agitación y rebase, pero con falta de cobertura homogénea en todos los puertos. Consenso científico en que la funcionalidad ya es sensible a eventos extremos.	Los planes autonómicos ofrecen información cuantitativa para muchos puertos, pero falta modelado detallado en algunos casos. Consenso científico alto en tendencia a mayor riesgo funcional.	Mayor rango de incertidumbre en los cambios en la circulación atmosférica y, por tanto, en los modelos climáticos. Dependencia del diseño de infraestructuras y de los escenarios de inversión. Consenso científico en la tendencia, pero algunas discrepancias en la magnitud regional. Discrepancias sobre la capacidad adaptativa.	Incertidumbre significativa en las proyecciones de eventos extremos y de aumento del nivel medio del mar relativo. Incertidumbre en los modos de fallo. Consenso científico general en dirección de cambio, dispersión alta en magnitud. Variabilidad de efectos sistémicos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Aumento del nivel medio del mar relativo, compuesto por el aumento del nivel medio del mar local y la subsidencia del terreno, y eventos extremos de nivel del mar (marea meteorológica y marea astronómica), oleaje y viento. Esta combinación de factores resulta en pérdida de calado en los canales de acceso y las dársenas (debido a procesos de erosión y sedimentación), pérdida de operatividad por rebase, agitación y viento, inundación costera y pérdida de estabilidad de infraestructuras.	Infraestructuras de protección, terminales y equipamiento, operaciones y transporte y actividades portuarias.	Tasa de aumento del nivel medio del mar local, nivel de subsidencia, nivel de implementación de medidas de adaptación, umbrales de operatividad por rebase, agitación y viento, tipología y características de las terminales y el equipamiento y capacidad de afrontamiento.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El cierre o pérdida de funcionalidad de grandes puertos afecta a rutas logísticas internacionales, cadenas de suministro globales y mercados de materias primas, con posibles efectos en cascada que trascienden fronteras. Puede provocar tensiones comerciales y geopolíticas.
Territoriales	Impactos en la conectividad territorial, especialmente en regiones insulares y áreas dependientes del transporte marítimo para abastecimiento. Riesgo de aislamiento temporal de territorios periféricos. Afecta a la planificación portuaria, el urbanismo costero y la distribución espacial de industrias dependientes.
Sociales	Pérdida de empleos directos e indirectos en sectores ligados a la actividad portuaria (p. ej., transporte, logística, pesca y turismo). El desabastecimiento temporal de bienes esenciales puede generar tensiones sociales. Alteración de medios de vida locales y potencial aumento de la conflictividad por recursos estratégicos.
Maladaptación	Intervenciones portuarias rígidas o sobredimensionadas pueden agravar la exposición de zonas adyacentes al modificar patrones de oleaje y sedimentación. Las obras sin planificación integrada pueden derivar en altos costes de mantenimiento y reducir la resiliencia del sistema portuario y costero.
Género	Las disrupciones portuarias pueden afectar de forma desigual a mujeres empleadas en sectores logísticos, comercio y turismo, donde suelen ocupar puestos más precarios. El desabastecimiento de servicios básicos impacta especialmente a las mujeres, quienes suelen asumir la responsabilidad principal de cuidados y suministro familiar, incrementando su carga.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	El umbral a partir del cual la magnitud del impacto aumenta sustancialmente dependerá de las condiciones de diseño de las infraestructuras portuarias, en particular del nivel de seguridad para el que fueron concebidas. Una vez superado el umbral de diseño se perderá funcionalidad y operatividad con consecuencias inmediatas sobre el transporte de mercancías, el abastecimiento o el tráfico de pasajeros.
Lock-in/Bloqueo	Infraestructuras fijas y grandes inversiones dificultan reubicación o rediseño. Dependencia estructural del comercio marítimo.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Todos los puertos regionales españoles cuentan con un plan de adaptación. Existe un amplio margen para fortalecer la implementación de medidas de adaptación. El sistema estatal de puertos no cuenta todavía con planes de adaptación para sus puertos. No existen planes de adaptación específicos para obras de protección. Algunas medidas implementadas son las revisiones de los planes de explotación portuaria, las obras de refuerzo de diques y mejoras en predicción meteorológica (p. ej., sistemas de alerta temprana).
Gobernanza de gestión del riesgo	La coordinación entre Autoridades Portuarias, Puertos del Estado y administraciones locales resulta clave para integrar criterios de adaptación en la gestión portuaria. La actualización de planes de contingencia permite anticipar daños estructurales y garantizar la continuidad operativa durante eventos extremos. La resiliencia de las infraestructuras requiere inversiones sostenidas a largo plazo, así como la incorporación de criterios climáticos en normativa técnica, concesiones y contratos. Finalmente, la alineación con la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de Puertos del Estado y con los planes autonómicos favorece una gobernanza multinivel más efectiva.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Protección de la operatividad portuaria. Reducción de cierres temporales, retrasos y daños en instalaciones críticas (muelles, diques, rompeolas). Seguridad de personas y bienes. Minimización de riesgos para trabajadores, mercancías, barcos y usuarios. Competitividad económica. Evitar interrupciones en la cadena logística marítima y costes adicionales por desvíos o pérdidas de carga. Aprovechamiento de soluciones innovadoras. Implementación de diseños flexibles, estructuras flotantes o diques adaptativos que absorban energía de oleaje extremo. Fortalecimiento de la reputación internacional. Puertos resilientes pueden posicionarse mejor como nodos logísticos seguros frente a fenómenos climáticos extremos.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Huella de carbono de las infraestructuras. La construcción de obras de refuerzo estructural de diques y espigones implican un consumo intensivo de materiales y energía. Evitar reconstrucción reiterada. El diseño adaptativo y el mantenimiento preventivo reducen emisiones indirectas derivadas de reparaciones frecuentes.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Déficits de información	Datos estructurales y vulnerabilidad. Información incompleta o desactualizada sobre la resistencia y vida útil de diques y elementos de protección. Análisis de cadenas logísticas. Poca cuantificación de impactos económicos indirectos asociados a pérdida de operatividad. Monitorización en tiempo real. Déficit de sistemas de observación y alerta específicos para daños estructurales durante eventos extremos. Indicadores de resiliencia operativa. Carencia de métricas estandarizadas para evaluar la capacidad de recuperación tras impactos.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.4. RC6.4. Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano

El aumento de la temperatura y la acidificación de los océanos como consecuencia del cambio climático provoca alteraciones en la configuración de los ecosistemas marinos, afectando a la distribución y abundancia de las especies que los integran. Estas potenciales alteraciones afectan a toda la costa española, aunque su magnitud es variable entre regiones como consecuencia de múltiples factores, algunos inherentes a la propia biología de las especies y otros como consecuencia de los patrones regionales del clima. Gran parte de estas alteraciones tendrán impactos negativos sobre los hábitats, puesto que las especies que los integran se encuentran cerca de sus límites de tolerancia ambiental al ser la Península Ibérica una zona de transición biogeográfica (Tuya *et al.,* 2012). En caso de sobrepasarse dichos límites, estas especies verán comprometidos algunos de sus procesos ecológicos esenciales, y por tanto, se verán obligadas a desplazarse hacia latitudes o profundidades mayores si poseen los mecanismos necesarios. De modo opuesto, el hecho de que la Península Ibérica sea una zona de transición, supone que otras especies vean este cambio en las condiciones ambientales como una oportunidad para ampliar su distribución y colonizar nuevas regiones. Sin embargo, el balance observado hasta el momento apunta hacia una reducción en la complejidad de los sistemas ecológicos, con consecuencias negativas en todos los niveles y que pueden llegar a afectar a otros sectores relacionados como el turismo o la pesca.

Se trata de un riesgo relevante para todas las comunidades autónomas españolas con franja costera, siendo particularmente relevante en aquellas regiones con presencia de ecosistemas, comunidades o elementos biológicos especialmente vulnerables (por su rareza, singularidad, fragilidad o importancia ecológica y/o económica), estén incluidos o no dentro de alguna figura de protección. En las costas Atlánticas, los bosques de laminarias o 'kelp' son un claro ejemplo de comunidad vulnerable, no solo por el papel esencial que juegan en múltiples procesos como la proporción de refugio o la protección costera, sino también por la singularidad de los cambios registrados en su distribución (Casado-Amezúa *et al.,* 2019). Esto ha hecho que estas comunidades se encuentren actualmente confinadas en las costas gallegas y territorios adyacentes, dónde la influencia del afloramiento mitiga el aumento de la temperatura, manteniéndose próxima, pero por debajo de los límites de tolerancia de la especie. Otros ejemplos incluyen las praderas de fanerógamas del Mediterráneo, dominadas por *Posidonia oceanica,* que han perdido una cantidad significativa del área ocupada en esta región durante las últimas décadas (Marbà *et al.,* 2014; Telesca *et al.,* 2015) como consecuencia de los efectos del cambio climático en conjunto con otros estresores; o las del Atlántico, integradas por especies del género *Zostera* y que se encuentran amenazadas

tanto por el aumento de la temperatura del agua como por la subida del nivel del mar (Valle *et al.*, 2014; Ondiviela *et al.*, 2020).

La **Figura 9** recoge la cadena de impacto desarrollada para este riesgo clave, reflejando los principales peligros climáticos, el grado de exposición y los principales factores que caracterizan la vulnerabilidad del sistema.

El riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies está condicionado por un conjunto de **peligros**, siendo el aumento de la temperatura superficial del mar el más relevante. Este aumento de la temperatura afecta directamente a las especies, puesto que puede alterar o comprometer algunos procesos fisiológicos esenciales, modificando las tasas metabólicas o afectando a la reproducción. También lo hace indirectamente influyendo en otros procesos como aquellos que controlan la concentración de oxígeno disuelto en el agua o la disponibilidad de alimento. Aunque de forma aislada el aumento de las temperaturas ya supone un peligro relevante para los hábitats y especies, en conjunto con otros fenómenos como el incremento en la frecuencia e intensidad de las olas de calor, u otros de carácter antrópico (p. ej. sobreexplotación pesquera, contaminación, etc.) puede llegar a ser crítico, hasta el punto de provocar extinciones locales. La acidificación de los océanos es otro peligro que contribuye al riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitats y especies de las costas españolas, especialmente aquellos sistemas integrados por organismos que poseen estructuras calcáreas. Sin embargo, el conocimiento del que se dispone en este sentido es limitado, y los estudios realizados hasta el momento no parecen haber encontrado una relación clara entre el descenso del pH y los impactos negativos sobre estos organismos, al menos a las tasas de acidificación derivadas del cambio climático (Kersting, 2016).

En términos de **exposición**, todos los ecosistemas marinos se encuentran expuestos, en mayor o menor medida, al aumento de la temperatura del mar y la acidificación de los océanos. Algunos de los grupos de organismos más relevantes se han resaltado en la **Figura 9**, dentro del apartado de elementos expuestos, aunque la diversidad de hábitats marinos en el territorio nacional es muy amplia. Muchos de estos elementos expuestos se encuentran amparados dentro de diferentes figuras de protección, como los Parques Nacionales (i.e. PNMT del Archipiélago de Cabrera y PNMT de las Islas Atlánticas de Galicia), las Áreas Marinas Protegidas, Zonas de Especial Conservación (ZEC) y Lugares de Interés Comunitario (LIC), Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) o Reservas Marinas entre otras. Dentro de todos los hábitats marinos del territorio nacional, Kersting (2016) resalta algunos por su mayor exposición y vulnerabilidad como, por ejemplo, los arrecifes de *Cladocora caespitosa*, las comunidades de coralígeno y gorgonias mediterráneas, los arrecifes de vermétidos o los bosques de macroalgas dentro del hábitat de interés comunitario 1170 (Arrecifes), las praderas de *Posidonia oceanica* (hábitat de interés comunitario 1120) o de *Zostera*, así como los fondos de rodolitos y maerl. Algunas herramientas como el Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (MITECO, 2021b),

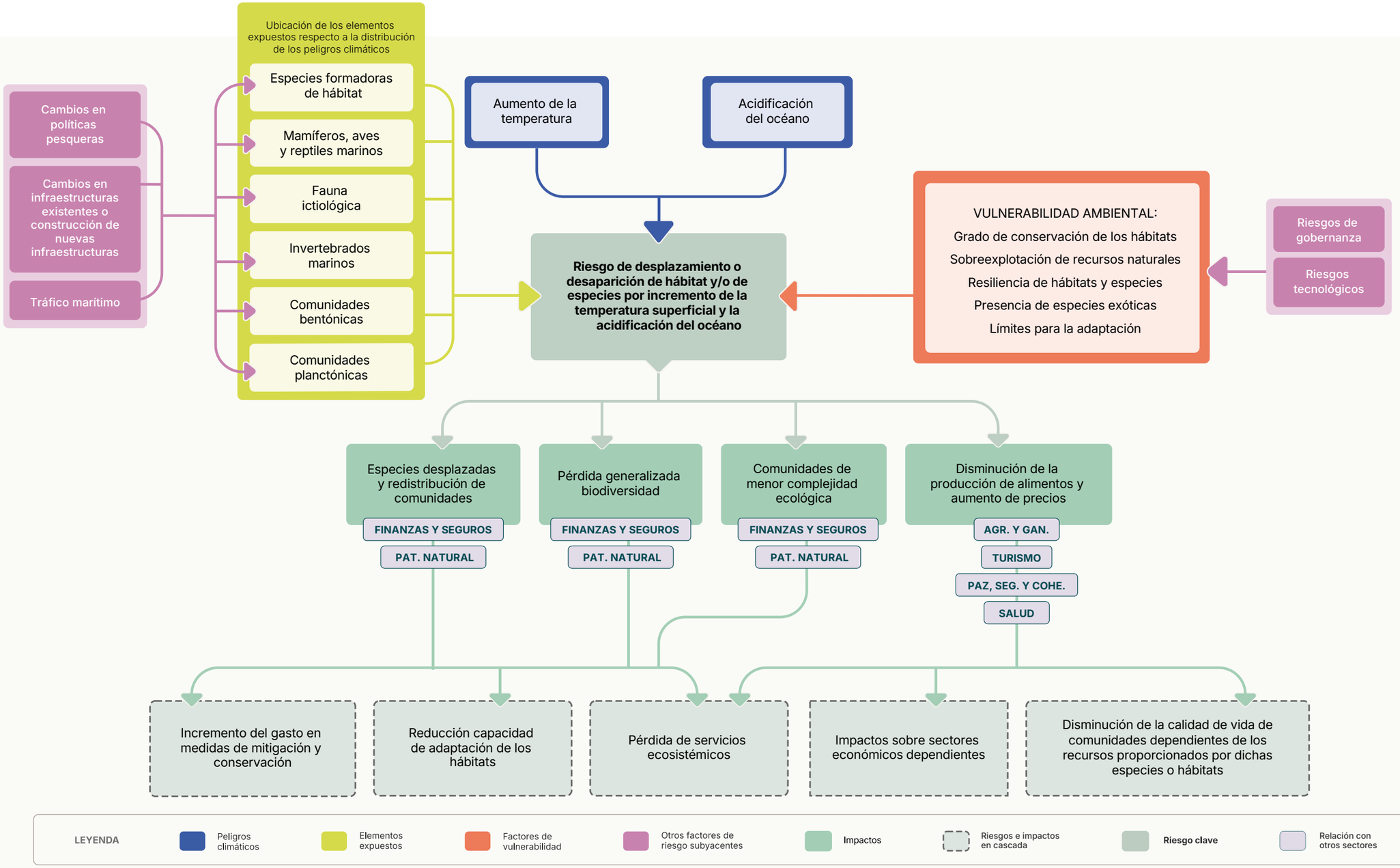


Figura 9. Cadena de impactos para el riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano

el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (LESRPE) o el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEA), sirven de referencia a la hora de estimar el grado de exposición de los hábitats y/o especies frente al aumento de las temperaturas y la acidificación, puesto que recogen una gran variedad de información como inventarios, catálogos, registros y listados de especies.

La **vulnerabilidad** de los hábitats mencionados anteriormente frente a los peligros derivados del cambio climático, así como, de las especies que los integran, depende de factores que pueden ser intrínsecos a las propias especies o poblaciones, como, por ejemplo, su plasticidad y capacidad adaptativa, la existencia de mecanismos específicos frente a perturbaciones o el grado de conservación; pero también extrínsecos, como factores antrópicos ligados a la explotación de recursos (p. ej. sobreexplotación pesquera) o la presencia de especies exóticas invasoras. En términos generales, una gran parte de las especies marinas, especialmente aquellas que carecen de movilidad, presentan una vulnerabilidad elevada frente al aumento de temperatura puesto que están adaptadas a condiciones específicas, sin grandes oscilaciones. De hecho, muchos de sus procesos ecológicos están fuertemente ligados a estas condiciones ambientales, así como a su estacionalidad, por lo que cambios bruscos o modificaciones en los regímenes existentes reducen su capacidad de respuesta. Las especies de crecimiento lento y bajas tasas de reclutamiento, como el coral *Cladocora caespitosa* anteriormente mencionado, son especialmente vulnerables frente a perturbaciones ambientales como el aumento rápido de las temperaturas, ya que su capacidad de recuperación es muy limitada (Kersting *et al.,* 2014). La posición de una determinada población dentro del perfil vertical también puede determinar su vulnerabilidad, como ocurre con las gorgonias mediterráneas, donde la vulnerabilidad se reduce con la profundidad (Linares *et al*., 2013). En especies con motilidad, la fragmentación de los hábitats, ligada al grado de conservación de estos, condiciona en gran medida la vulnerabilidad. Los movimientos migratorios, los procesos de dispersión de propágulos y el reclutamiento pueden verse afectados por estos fenómenos de fragmentación, al perderse o reducirse la conectividad entre poblaciones y hábitats. Si bien es cierto que algunas especies pueden desarrollar algunos mecanismos de adaptación frente a la reducción o falta de movilidad (mediante adaptación genética o plasticidad fenotípica), los estudios recientes apuntan a que el ritmo de desarrollo de estos mecanismos probablemente ocurra a una velocidad inferior a la del cambio climático (Parmesan & Hanley, 2015).

El riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies está asociado a una serie de **impactos** que son de naturaleza principalmente ecológica, pero que pueden llegar a afectar a otros sectores ligados como el turismo, la pesca o el financiero, entre otros. El principal impacto, como el propio enunciado del riesgo indica, es el desplazamiento de las especies con el aumento de las temperaturas, una vez que se superan los umbrales de tolerancia de la especie en una determinada región. En este sentido, los rangos de distribución de muchas especies se verán desplazados hacia los polos, en búsqueda de temperaturas más frías (p. ej. Franco *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2020). En España, al tratarse de una zona biogeográfica de transición, esta migración supondrá una reducción en el área

ocupada por muchas especies, quedando en algunas zonas confinadas en lo que se denominan refugios climáticos (Verdura *et al.*, 2021, Arriaga *et al.*, 2024). Este proceso estaría ligado a la entrada de nuevas especies, procedentes de hábitats más cálidos, por lo que determinadas áreas podrían registrar una redistribución de las comunidades, con efectos inciertos hasta la fecha. Así lo demuestran algunas evidencias que apuntan a que en determinadas zonas de la Península Ibérica ya se está produciendo un reemplazo de especies de macroalgas con una afinidad térmica más fría por especies de afinidad térmica cálida (de Azevedo *et al.*, 2023). Esto también se ha observado con diferentes especies de peces en el Mar Mediterráneo, dónde la alacha (*Sardinella aurita*), una especie de aguas cálidas ha empezado a reproducirse en zonas dónde en las últimas décadas no lo hacía (Sabatés *et al.*, 2006), mientras que las poblaciones de otras especies como la sardina (*Sardina pilchardus*) o la anchoa (*Engraulis encrasicolus*) se encuentran en declive (Martín *et al.*, 2012). Estos cambios a nivel de hábitat, especialmente cuando afectan a las especies estructurantes de los mismos, tienen tal relevancia que han sido incluidos en algunos estudios regionales de adaptación al cambio climático como los del programa PIMA Adapta-Costas (MITECO, 2020b). En el estudio de Cantabria, por ejemplo, se recoge una evaluación del efecto del cambio climático en las comunidades de macroalgas intermareales a partir la clasificación en tipologías establecida en Ramos et al. (2015). El análisis muestra como en la comunidad, y en general, en toda la cornisa cantábrica, las tipologías existentes serán remplazadas por una nueva tipología en el escenario RCP 8.5 y horizonte temporal 2081-2100, con condiciones favorables para desarrollo de especies de macroalgas de latitudes bajas y aguas más cálidas (Figura 10).

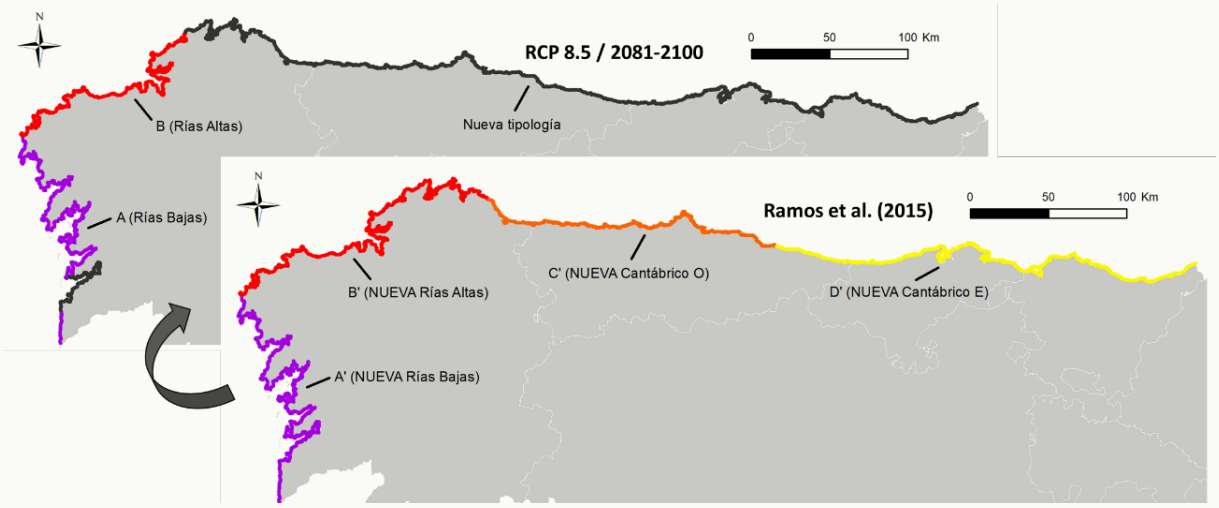


Figura 10. Ejemplo de los cambios en las tipologías ecológicas de macroalgas intermareales para el escenario RCP8.5 y periodo temporal 2081-2100 como consecuencia del aumento de las temperaturas y los cambios en el régimen de oleaje.
Fuente: PIMA Adapta-Cantabria (IHCantabria, 2021a)

Por otro lado, aunque los estudios a nivel nacional son limitados, existen algunos trabajos a nivel internacional que están reportando cómo esta redistribución está generalmente asociada a una reducción en la complejidad estructural de los sistemas, y por tanto en una pérdida generaliza de biodiversidad. Utilizando de nuevo el ejemplo de las macroalgas, se ha observado como ciertas regiones del planeta dónde los bosques de laminariales o 'kelps', compuestos por especies estructurantes de algas pardas que albergan gran diversidad de fauna y flora, están siendo sustituidos por sistemas tipo 'turf' con una estructura tridimensional mucho menor, y, con las implicaciones que esto conlleva en términos de funcionalidad (Filbee-Dexter & Wernberg, 2018).

Esta pérdida generalizada de biodiversidad, motivada por los desplazamientos y la desaparición de ciertas especies en respuesta al aumento de las temperaturas o la acidificación de los océanos, ocurre al alterarse algunos de los procesos ecológicos esenciales de dichas especies. Son múltiples los estudios que han revisado y cuantificado los impactos sobre algunos de estos procesos, incluyéndose efectos negativos sobre la supervivencia, mecanismos reproductivos, procesos migratorios y fenología de todo tipo de organismos marinos (p. ej. Marbà *et al.,* 2015; Duarte *et al.,* 2018; Wernberg *et al.,* 2024). En términos fenológicos, uno de los principales impactos es la alteración en la estacionalidad de los ciclos de vida de algunas especies. En las costas atlánticas, se ha observado como los episodios primaverales de "bloom" fitoplanctónico se están adelantando y reduciendo su intensidad, mientras que los otoñales se retrasan y aumentan de intensidad como consecuencia del aumento de las temperaturas en combinación con cambios en otros factores como la radiación solar fotosintéticamente activa o los patrones de viento (González Taboada & Anadón, 2014). También ciertos procesos migratorios se están viendo alterados por el cambio climático como, por ejemplo, los del atún rojo (*Thunnus thynnus*) que llega a los caladeros del Golfo de Vizcaya con un promedio de una a dos semanas de antelación (Dufour *et al.,* 2010). En muchas situaciones es difícil atribuir los efectos negativos únicamente al aumento de las temperaturas. En el caso de *Gelidium corneum*, una especie de alto interés ecológico y comercial, los declives poblaciones observados parecen estar relacionados con una combinación de factores. Estos incluyen el aumento de las temperaturas, la disponibilidad de luz y el aumento de la intensidad y frecuencia de eventos extremos de oleaje que afectan al desarrollo de los individuos adultos, pero también tienen impactos negativos sobre los mecanismos de reproducción (Quintano *et al.,* 2017; Borja *et al.,* 2018; Sainz-Villegas *et al.,* 2023).

Estos cambios en los ecosistemas marinos pueden llegar a afectar a otros sectores relevantes, siendo el pesquero uno de los principalmente afectados. Los cambios en los patrones migratorios, así como la disminución de la productividad reducen significativamente el número de capturas lo que provoca una disminución en la producción de alimentos y por tanto fluctua-

ciones en los precios de venta. Sin embargo, la pesca no es el único servicio ecosistémico de aprovisionamiento afectado negativamente por el aumento de las temperaturas. Otros ejemplos incluyen la acuicultura directa en el mar, especialmente la de bivalvos en las rías de Galicia, o la producción de agar-agar a partir del alga agarofítica *Gelidium corneum* en el Mar Cantábrico. Mas allá de los servicios de aprovisionamiento, la degradación y/o desaparición de hábitats también puede generar una pérdida importante de los servicios de protección costera brindado por estructuras naturales como arrecifes, bosques de macroalgas o praderas de fanerógamas (Ondiviela *et al.,* 2014). Esto a su vez puede desencadenar una serie de consecuencias sociales, especialmente en aquellas comunidades con un elevado grado de dependencia de estos recursos naturales, llegando a disminuir la calidad de vida de la comunidad como consecuencia de la escasez del recurso, siempre y cuando no existan alternativas de adaptación. Todos estos impactos pueden verse agravados además por otros factores de riesgo subyacente, como la necesidad de expansión o adaptación de ciertos sectores económicos o tecnológicos, o el desarrollo de nuevas políticas en materia pesquera o de gestión del gasto en conservación.

Ficha 4. Análisis del riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial	Crítica	Crítica
	La degradación de los hábitats clave mencionados en el texto afecta a miles de hectáreas dentro del territorio nacional, parte dentro de espacios protegidos. Esto provoca migraciones y cambios distribucionales a diferentes escalas.	Aunque no se han identificado estudios específicos agregados a nivel nacional, los estudios centrados en procesos ecológicos esenciales apuntan a una continuación en el proceso de degradación de los hábitats. A pesar de que es difícil de cuantificar, seguirá afectando a miles de hectáreas. Mecanismos de plasticidad fenotípica, pueden proporcionar cierta resiliencia de forma temporal.	No existen estudios agregados a nivel nacional que incluyan los escenarios climáticos actualizados del AR6. La percepción del riesgo es significativa teniendo en cuenta que, en España, muchas especies clave ya se encuentran próximas a sus límites de tolerancia térmica. Un nivel de calentamiento de 2°C a Medio plazo, supondrá traspasar dichos límites, y por tanto, la alteración de decenas de miles de hectáreas de hábitats costeros.	Aumenta la incertidumbre, pero se mantienen las tendencias descritas para el Medio plazo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	**Actual**	**Corto plazo** 2021-2040 (1,5 °C)	**Medio plazo** 2041-2060 (2 °C)	**Largo plazo** 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	**Alto** ◆◆◆ · Alta · Alto	**Medio** ◆◆ · Media · Medio	**Bajo** ◆ · Baja · Medio	**Bajo** ◆ · Baja · Medio
	Las evidencias presentadas en el texto son suficientes para considerar que existe consenso, y con un nivel de confianza alto de que el cambio climático está generando una alteración de los hábitats y una regresión en la distribución de muchas especies clave en todo el territorio nacional.	Aunque las proyecciones de los modelos climáticos son a corto plazo, generalizar a todo el territorio es complejo debido a la heterogeneidad de las características intrínsecas de las especies y poblaciones. Muchas de los estudios no están actualizados a los escenarios actuales, lo que reduce el nivel de confianza.	Muchos de los estudios existentes no están actualizados a los escenarios actuales del AR6. La incertidumbre sobre la evolución de los procesos de redistribución aumenta a Medio plazo.	Aumenta la incertidumbre en las proyecciones de cambio climático, y por tanto, en los modelos de distribución. Además, muchos estudios no están actualizados a los escenarios actuales. Se mantiene el consenso científico general en la dirección de cambio, aunque aumenta la incertidumbre a largo plazo en el desarrollo del proceso de redistribución de especies.

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Aumento de la temperatura de la superficie del mar y descenso del pH de los océanos (acidificación).	Hábitats marinos y los organismos que los integran, tanto en el medio pelágico como bentónico, incluyendo especies formadoras de hábitat, mamíferos, reptiles, aves marinas, invertebrados y peces.	La vulnerabilidad viene determinada por factores intrínsecos de las propias especies y hábitats, como resistencia y/o resiliencia frente a perturbaciones o su capacidad de adaptación; y por factores extrínsecos, como el grado de conservación de los hábitats, la presencia de eventos (presentes o pasados) de sobreexplotación del recurso natural o la presencia de especies exóticas invasoras.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La componente transfronteriza asociada a este riesgo es relevante puesto que el desplazamiento de especies es un impacto que ocurre a nivel global. Por ejemplo, las alteraciones en procesos migratorios no necesariamente ocurren como consecuencia de los cambios registrados en la región en la que se manifiestan, y, por tanto, es necesario abordar este riesgo de forma coordinada. La Unión Europea trata de promover la cooperación entre estados en materia de conservación de hábitats a través de políticas integradas como la Estrategia de la UE sobre biodiversidad para 2030 (Comisión Europea, 2020) o la Directiva relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (Directiva 2014/52/UE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 16 de Abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente., 2014).
Territoriales	Los impactos derivados de este riesgo ocurren de manera desigual en el territorio español dada la variabilidad climática de España. Se puede considerar que las regiones del sur son potencialmente más vulnerables dado que registran las mayores temperaturas, y por tanto, están más próximas a los límites de tolerancia que definen los rangos de distribución. También es importante considerar que existen zonas que actúan a modo de refugios climáticos para determinadas especies, como, por ejemplo, las regiones de la cornisa atlántica en el norte de España gracias a la influencia del afloramiento de agua fría rica en nutrientes.
Sociales	Incremento de la vulnerabilidad de hogares con menor capacidad de recuperación económica, especialmente aquellos ligados a actividades primarias dependientes de recursos naturales o al turismo.
Maladaptación	El conocimiento existente acerca de la efectividad de medidas de recuperación o restauración de hábitats en el medio marino es limitado y a corto plazo, lo que genera incertidumbre en la viabilidad a largo plazo de dichas medidas.
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Establecer umbrales críticos para cada especie o hábitat en riesgo es una tarea complicada, ya que en muchos casos estos umbrales están condicionados por interacciones complejas de múltiples factores, y no solo responden al aumento de las temperaturas o la bajada del pH. Sin embargo, es posible desarrollar aproximaciones matemáticas a modo de curvas de tolerancia, que establecen mediante modelado relaciones entre los datos procedentes de observaciones o ensayos experimentales y los factores ambientales/climáticos de interés (p. ej. de la hoz *et al.*, 2019). En estas aproximaciones es importante tener en cuenta que la flexibilidad en las respuestas puede variar entre poblaciones de una misma especie, apareciendo adaptaciones locales a las condiciones del entorno.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	Existen factores socioculturales y de gobernanza dentro del sector pesquero, que pueden llevar a decisiones que impliquen una continuación de la pesca de determinadas especies y la pesca en determinados caladeros específicos a pesar de que se estén registrando impactos negativos sobre los mismos. El desplazamiento de especies genera, como hemos mencionado, una redistribución de la biodiversidad y afecta directamente a las figuras de protección establecidas hasta la fecha. La falta de flexibilidad a la hora de modificar los límites y objetivos de dichas figuras de protección en respuesta a las dinámicas climáticas puede suponer otro factor de bloqueo. En zonas costeras, la presencia de infraestructuras o la existencia de concesiones para diferentes actividades puede limitar la capacidad de adaptación de los hábitats.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Se han desarrollado diferentes estrategias y planes a nivel comunitario (UE) que abordan en cierta medida algunos de los impactos mencionado como la Estrategia de Biodiversidad de la UE para 2030 (2020), la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (2021) o el Pacto Verde Europeo (2019). A nivel nacional, aunque de forma genérica, también existen ejemplos de normativa relacionada con el desarrollo de medidas para hacer frente al impacto del cambio climático sobre los hábitats marinos. Estos incluyen el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC, 2020), la Estrategia de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (2021) y, por último, la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (2021). A nivel costero, existe la Estrategia para la Adaptación de la Costa al Cambio Climático (2017), aunque está centrada principalmente en medidas de protección frente a la subida del nivel del mar y la erosión costera.
Gobernanza de gestión del riesgo	La gobernanza de gestión para este riesgo está dividida en tres niveles administrativos: nacional, autonómico y local. A nivel nacional, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), a través de la Dirección General de la Costa y el Mar (DGCM), sería la responsable del desarrollo de políticas de conservación de la biodiversidad en el medio marino. A nivel autonómico, las comunidades, aunque limitadas, también tienen competencias en la costa, principalmente en materia de ordenación territorial que indirectamente puede tener efectos a la hora de gestionar el riesgo sobre hábitat costeros. Por último, a nivel local los ayuntamientos responsables de la gestión de playas y otros enclaves, con implicaciones en el desarrollo e implementación de medidas.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La creación de figuras de protección que consideren los impactos del cambio climático en el desarrollo de sus objetivos, y garanticen una cierta flexibilidad frente a los mismos, contribuye a reducir presiones externas sobre los sistemas naturales, mejorando su conservación y garantizando la conectividad entre hábitats. En este sentido es importante identificar y proteger los refugios climáticos. Por otro lado, las medidas de restauración activa de hábitats permiten recuperar determinadas zonas perturbadas por factores ajenos al cambio climático, mejorando la conectividad, y aumentando así la resistencia y resiliencia de los hábitats frente a los impactos promovidos por el clima. Del mismo modo, la restauración de determinados hábitats contribuye a mejorar diferentes servicios ecosistémicos como la protección costera. La diversificación de la pesca es otra posible medida de adaptación que contribuye a reducir las presiones adicionales sobre aquellas poblaciones en declive como consecuencia del aumento de las temperaturas, así como a aumentar la resiliencia económica de la actividad.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	El impacto del riesgo en la descarbonización es negativo puesto que el desplazamiento de especies o la desaparición de determinados hábitats, especialmente aquellos relevantes desde el punto de vista del ciclo del carbono (p. ej. praderas marinas), reduce el potencial natural de secuestro de carbono. Por el contrario, la descarbonización tiene un impacto positivo en el riesgo al reducirse la presión sobre los sistemas marinos, aumentando los márgenes de adaptación.
Déficits de información	No se dispone de información actualizada, homogénea y detallada de la distribución de muchos organismos marinos, por lo que cuantificar los impactos del aumento de las temperaturas o de la acidificación en términos de desplazamientos de una forma generalizada puede ser complejo. Falta información acerca de los umbrales de tolerancia de muchas especies, así como del alcance de los mecanismos de adaptación y plasticidad fenotípica. La información sobre la capacidad de recuperación de ciertas especies y/o hábitats frente a las perturbaciones climáticas es escasa. La complejidad de las interacciones entre peligros climáticos y otros factores externos, como los antrópicos, dificulta el análisis debido en muchos casos a la falta de datos.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector. Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase capítulo Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente. Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí. Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros. Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

En el grafo de interdependencias (**Figura 11**), el **RC6.2 Riesgo de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por el aumento de la intensidad y frecuencia de eventos extremos de nivel del mar, viento y oleaje** aparece como nodo central (en negro) con grado de salida 13 y grado de entrada 2. Es decir, aunque depende de dos riesgos previos, actúa principalmente como amplificador sistémico que propaga sus efectos al resto del entramado de riesgos. Las flechas azules que irradian desde el nodo central ilustran esa capacidad de contagio hacia múltiples ámbitos; la red de conexiones grises refleja, además, las interacciones secundarias entre los riesgos afectados. La figura pone de manifiesto, en suma, que la peligrosidad costera asociada a temporales marinos no se agota en el dominio físico, sino que desencadena consecuencias encadenadas en otros sectores.

Dentro del sector de Costas y Medio Marino, el RC6.2 intensifica la pérdida permanente de superficie emergida por inundación y erosión ligada al aumento del nivel medio del mar (RC6.1) y condiciona la funcionalidad y operatividad de las infraestructuras de protección y portuarias (RC6.3),

con relaciones de realimentación que refuerzan el problema cuando se degradan defensas o se alteran los balances sedimentarios. Sus impactos se proyectan también sobre otros sectores. En Patrimonio Natural, contribuye a la pérdida de biodiversidad por acumulación de impactos climáticos (RC3.1) y a la degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones funcionales (RC3.4). En el ámbito de la Ciudad, aumenta el daño a personas, edificaciones e infraestructuras urbanas (p. ej., saneamiento, drenaje, energía y transporte) (RC7.1) y favorece interrupciones o desabastecimientos de servicios básicos durante episodios extremos (RC7.2). En Transporte, reduce la operatividad portuaria y eleva el riesgo de daños (RC10.1). En Industria y Servicios, incrementa la exposición y el daño en instalaciones críticas (RC11.1). En Turismo, acelera la pérdida o degradación de recursos naturales que sostienen la actividad (RC12.3). En el sistema financiero, puede motivar correcciones de precios de activos (RC13.1), contracción de la actividad financiera en territorios altamente perturbados (RC13.2) y mayores compensaciones por pérdidas aseguradas, incluido el ramo agrario, ante inundaciones y otros extremos (RC13.4). Finalmente, en Paz, Seguridad y Cohesión Social, contribuye a la degradación de medios de vida y subsistencia cuando los impactos se acumulan (RC14.1). Esta lectura integrada subraya la centralidad del RC6.2 como vector de riesgo intersectorial: un nodo con dependencia moderada de factores previos, pero con gran capacidad de propagación hacia riesgos ambientales, urbanos, económicos y sociales.

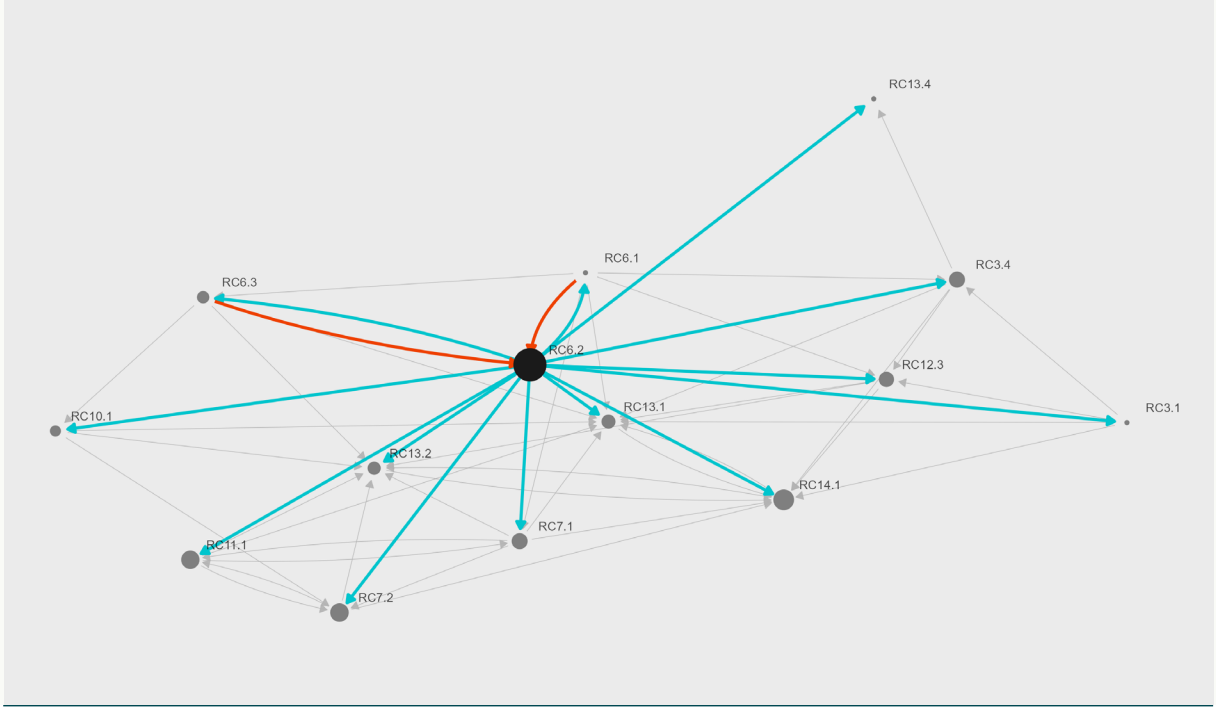


Figura 11. Grafo del RC6.2 Riesgo de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleaje extremos. Fuente: Capítulo de Riesgos complejos (ver nota al pie 10).

Tabla 3 Clasificación de métrica según el análisis de riesgos complejos en el sector Costas y Medio Marino

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC6.1 Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo	Bajo ▼	Bajo ▼	Alto ▲	Media –
RC6.2 Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleaje extremos[10]	Bajo ▼	Alto ▲	Bajo ▼	Alto ▲
RC6.3 Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección y portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos	Bajo ▼	Baja ▼	Baja ▼	Media –
RC6.4 Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano	Bajo ▼	Baja ▼	Baja ▼	Media –

[10] La denominación de este riesgo ha variado desde que se llevó a cabo el análisis de los riesgos complejos, correspondiéndose en este caso con el RC6.2 Riesgos de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.

6. Caso de estudio

El caso de estudio Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en la Costa (PIMA Adapta-Costas) ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de Costas y Medio Marino. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

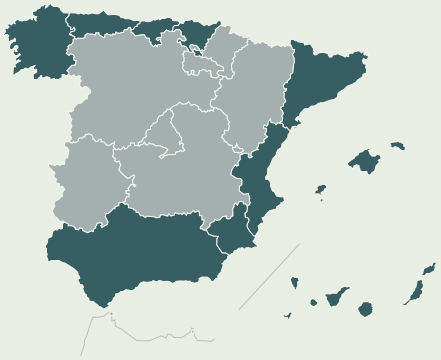
Plan de impulso al medio ambiente para la adaptación al cambio climático en la costa (PIMA ADAPTA-COSTAS)

Objeto

- El Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en la Costa (PIMA Adapta-Costas) tiene como objeto principal impulsar la adaptación de los sistemas costeros españoles al cambio climático, dotando a las comunidades autónomas litorales de los recursosw necesarios para evaluar riesgos climáticos de carácter socioeconómico y ambiental. Su finalidad es sentar una base técnica y metodológica común para analizar la vulnerabilidad del litoral español ante la subida del nivel del mar y eventos extremos de erosión e inundación costera más frecuentes, contribuyendo a la planificación de medidas de adaptación eficaces en el marco de la Estrategia de Adaptación de la Costa Española al Cambio Climático.

Descripción:

- A través del PIMA Adapta Costas, se transfirieron recursos económicos a las comunidades autónomas costeras, con una dotación global de aproximadamente 4 millones de euros, para financiar



Ámbito Territorial:

- Todas las comunidades autónomas costeras del territorio nacional.

Sector(es)/subsector:

- Costas y Medio Marino.

Entidad(es) del proyecto:

- Oficina Española de Cambio Climático (gestión de fondos y supervisión), Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (coordinación y recopilación de bases de datos), gobiernos regionales (receptores de fondos) y centros de investigación o tecnológicos y empresas consultoras (ejecutores de los proyectos).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

la elaboración de estudios regionales de evaluación de riesgos climáticos y desarrollar visores cartográficos que integrasen la información generada. Cada comunidad autónoma debía presentar sus informes finales y visores antes de finalizar 2018, de acuerdo con los compromisos asumidos en la Conferencia Sectorial. Los trabajos técnicos incluyeron la caracterización del riesgo climático sobre los sistemas socioeconómicos y naturales, considerando tanto la inundación permanente asociada al ascenso del nivel del mar como la inundación por eventos extremos. Asimismo, se analizaron los procesos de erosión de playas y los impactos sobre ecosistemas costeros y marinos. Entre los productos generados se incluyen mapas de riesgo, identificación de tramos costeros críticos y recomendaciones para la planificación territorial y la adaptación. El estudio piloto desarrollado en el Principado de Asturias estableció las bases metodológicas para garantizar la comparabilidad de los resultados entre comunidades autónomas y facilitar su integración en futuras estrategias nacionales de adaptación.

Aspectos destacables

- Entre los aspectos más relevantes del PIMA Adapta-Costas destaca su carácter pionero como programa que ha permitido disponer, por primera vez, de análisis del riesgo del cambio climático en la costa de alta resolución para prácticamente todo el litoral español. Esta capacidad de generar conocimiento técnico específico por tramos de costa ha fomentado la mejora de la planificación y gestión del riesgo en el ámbito regional. Además, el programa impulsó la colaboración entre administraciones autonómicas y el Estado, sirviendo de base para que cada comunidad autónoma adaptara la metodología a su propia realidad territorial. No obstante, la diversidad de enfoques, variables climáticas, sectores y subsectores considerados y formatos de los visores resultantes pone de manifiesto la necesidad de reforzar la armonización y la interoperabilidad de los estudios, con el fin de disponer de una visión integral y coherente del riesgo costero a escala nacional.

Escala:

- Regional.

Riesgo(s):

- El programa PIMA Adapta-Costas adoptó un enfoque multisectorial, considerando riesgos de inundación y erosión por el aumento del nivel medio del mar y eventos extremos sobre sectores socioeconómicos como la vivienda, la industria, la agricultura o el turismo, así como la pérdida de hábitats y especies naturales debido a la inundación, la subida de la temperatura superficial y la acidificación del mar.

Enlaces a los visores disponibles:

- http://portalrediam.cica.es/mapea/PIMA/riesgos/ (Andalucía).
- http://mapas.cantabria.es/ (Cantabria).
- http://visors.icgc.cat/PIMA-AdaptaCostas (Cataluña).
- http://geoadaptacostes.gva.es/ (Comunidad Valenciana).
- http://experience.arcgis.com/experience/2d36958630024f2bb1f1611d0864b8b4 (Galicia).
- http://ideib.caib.es/impactes_costa_canvi_climatic/es/ (Islas Baleares).
- http://grafcan1.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=a1bc45dd09994ac1979479fcff4db989 (Islas Canarias).
- http://gis.ihobe.eus/kostaegoki/ (País Vasco).
- http://c3e-asturias.ihcantabria.com (Principado de Asturias).
- http://pimamurcia.ihcantabria.es/visor/ (Región de Murcia).

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

El objetivo del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en la Costa, conocido como PIMA Adapta-Costas, fue dotar a las comunidades autónomas costeras de los recursos necesarios para desarrollar estudios sobre la evaluación de riesgos climáticos socioeconómicos y naturales en su litoral, como parte de la Estrategia de Adaptación de la Costa Española al Cambio Climático. Para ello, se transfirieron créditos con cargo al programa PIMA Adapta-Costas, bajo la premisa de trabajar con una base común de información climática, pero permitiendo incorporar datos locales de alta resolución y metodologías adaptadas a cada territorio.

El estudio piloto se desarrolló en el Principado de Asturias, a través del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, y sirvió de referencia metodológica para el resto de las comunidades autónomas costeras. A partir de este marco común, cada región elaboró sus informes y visores cartográficos, aplicando metodologías propias adaptadas a su contexto territorial. El análisis comparado de los trabajos revela diferencias sustanciales en los enfoques utilizados, el grado de integración entre inundación y erosión, el tratamiento de la vulnerabilidad socioeconómica y ecológica, y la profundidad del análisis sectorial. También varía la calidad cartográfica y la accesibilidad de los visores generados.

En cuanto al tratamiento de la peligrosidad física, algunas comunidades (País Vasco, Baleares) se centraron únicamente en la subida del nivel medio del mar, mientras que otras (Canarias, Cantabria, Murcia) incorporaron un conjunto más amplio de variables climáticas, como oleaje, temperatura superficial del mar o caudales fluviales. Los enfoques utilizados para el modelado de la inundación costera también varían sustancialmente: desde métodos simples tipo *bathtub* (Baleares, Cataluña) hasta modelos de procesos basados en ecuaciones hidráulicas y proyecciones climáticas (Canarias, Cantabria, Comunidad Valenciana y Murcia). Por ejemplo, Cantabria integró el efecto combinado de inundación y erosión costera, tal y como se muestra en el ejemplo de la **Figura 12**, así como un índice de peligrosidad dunar, mientras que Galicia aplicó métodos clásicos de análisis de playas sin considerar la vulnerabilidad ni el riesgo de forma explícita.

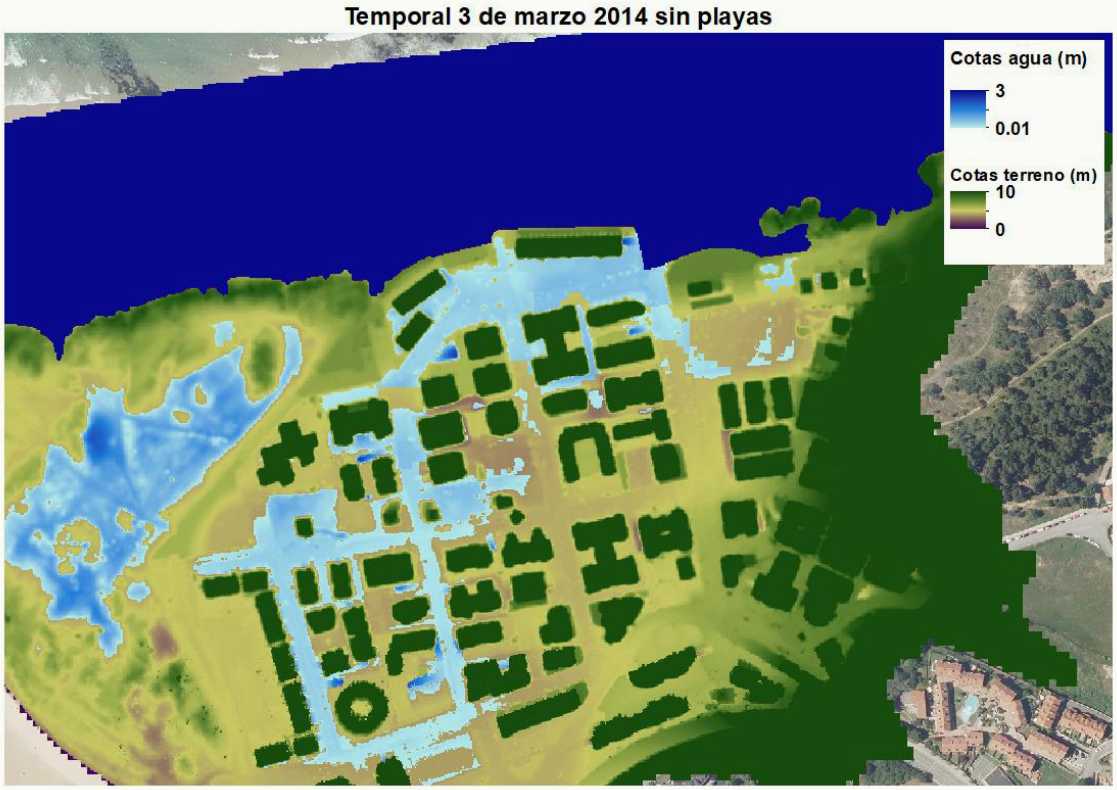


Figura 12. Inundación costera producida durante el temporal del 3 de marzo de 2014 considerando la playa de Somo en situación de máxima erosión. Fuente: PIMA Adapta-Cantabria (IHCantabria, 2021a).

La evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo muestra igualmente enfoques dispares. En regiones como Cataluña o Galicia, estos aspectos no fueron tratados de forma explícita, mientras que, en otras, como Canarias, Cantabria y Murcia, se desarrollaron índices integrados avanzados, diferenciados por sectores. En este sentido, Canarias destacó por la alta resolución del modelado, el cálculo de riesgo con ponderación sectorial y la identificación de *hotspots*, siguiendo la metodología del piloto en Asturias. Por el contrario, en Andalucía el análisis se centró en el sistema natural, con buena representación cartográfica, pero una caracterización socioeconómica limitada, y Baleares no incluyó una evaluación del sistema natural. La Comunidad Valenciana aplicó un modelo detallado para L'Albufera, aunque sin curvas de daño. Finalmente, la mayor parte de los visores cartográficos difieren notablemente en formato, resolución y funcionalidad, lo que limita su interoperabilidad y dificulta la visualización integrada de riesgos a escala nacional.

Si bien el programa PIMA Adapta-Costas ha representado un avance sin precedentes en el diagnóstico del riesgo climático costero a escala autonómica y nacional, el análisis comparado de los

trabajos revela una importante heterogeneidad en los enfoques metodológicos, el tratamiento de los sectores y sistemas evaluados, y la calidad y accesibilidad de los visores generados. Esta variabilidad limita la comparabilidad directa entre regiones y reduce el potencial de integración en una estrategia estatal coherente. Entre las principales lecciones extraídas de esta experiencia destaca la necesidad de establecer criterios mínimos comunes para futuros ejercicios, que incluyan metodologías armonizadas, escenarios climáticos homogéneos, estructuras de datos interoperables y mecanismos que favorezcan la actualización dinámica de la información, con el fin de facilitar análisis comparativos y apoyar de forma más efectiva la planificación y gestión de la adaptación al cambio climático en la costa.

8. Referencias

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. Global environmental change, 16(3), 268-281.
- Adger, W. N., Safra de Campos, R., Siddiqui, T., Franco Gavonel, M., Szaboova, L., Rocky, M. H., Alam Bhuiyam, M. R. and Billah, T. (2021). Human security of urban migrant populations affected by length of residence and environmental hazards, Journal of Peace Research, 58(1), 50–66.
- Agulles, M., Jordà, G., & Lionello, P. (2021). Flooding of sandy beaches in a changing climate. The case of the Balearic Islands (NW Mediterranean). Frontiers in Marine Science, 8, 760725.
- Almazan-Benitéz, B. D. R., Esteller-Alberich, M. V., Renau-Pruñonosa, A., & Expósito-Castillo, J. L. (2024). Simulation of Seawater Intrusion and Upconing Processes in Mediterranean Aquifer in Response to Climate Change (Plana de Castellón, Spain). Hydrology, 11(12), 205.
- Altamirano, M., De La Rosa, J., Martínez, F.J. 2016. Arribazones de la especie exótica Rugulopteryx okamurae (E.Y. Dawson) I.K. Hwang, W.J. Lee and H.S. Kim (Dictyotales, Orchrophyta) en el Estrecho de Gibraltar: primera cita para el Atlántico y España. ALGAS 52: 20.
- Alvarado-Aguilar, D., Jiménez, J. A., & Nicholls, R. J. (2012). Flood hazard and damage assessment in the Ebro Delta (NW Mediterranean) to relative sea level rise. Natural Hazards, 62, 1301-1321.
- Amores, A., Marcos, M., Carrió, D. S., & Gómez-Pujol, L. (2020). Coastal impacts of Storm Gloria (January 2020) over the north-western Mediterranean. Natural Hazards and Earth System Sciences, 20(7), 1955-1968.
- Angulo, E., Ballesteros-Mejia, L., Novoa, A., Duboscq-Carra, V. G., Diagne, C., & Courchamp, F. (2021). Economic costs of invasive alien species in Spain. NeoBiota, 67, 267-297.
- Arabadzhyan, A., Figini, P., García, C., González, M. M., Lam-González, Y. E., & León, C. J. (2021). Climate change, coastal tourism, and impact chains–a literature review. Current Issues in Tourism, 24(16), 2233-2268.
- Ariza, E., Ballester, R., Rigall-I-Torrent, R., Saló, A., Roca, E., Villares, M., ... & Sardá, R. (2012). On the relationship between quality, users' perception and economic valuation in NW Mediterranean beaches. Ocean & Coastal Management, 63, 55-66.
- Arriaga, O., Wawrzynkowski, P., Muguerza, N., Díez, I., González, J., Gorostiaga, J. M., Quintano, E., & Becerro, M. A. (2024). Thermal refugia reinforce macroalgal resilience against climate change in the southeastern Bay of Biscay. Global Change Biology, 30(8), e17481.
- Baena Ruiz, L., Pulido-Velazquez, D., Renau-Pruñonosa, A., Morell, I., Llopis-Albert, C., Collados-Lara, A. J., & Senent-Aparicio, J. (2017). An Index-Based Method to Assess Impacts of Global Change on Seawater Intrusion Problems. Environmental Earth Sciences. Springer International Publishing. ISBN: 978-3-319-69355-2. ISSN: 2199-9155.
- Ballesteros, C., Jiménez, J. A., & Viavattene, C. (2018). A multi-component flood risk assessment in the Maresme coast (NW Mediterranean). Natural Hazards, 90, 265-292.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. Ecological monographs, 81(2), 169-193.

- Barrios-Crespo, E., Torres-Ortega, S., & Díaz-Simal, P. (2023). Are We Underestimating the Risk of Coastal Flooding in Europe? The Relevance of Critical Infrastructure. Journal of Marine Science and Engineering, 11(11), 2146.
- Becker, A., Ng, A. K., McEvoy, D., & Mullett, J. (2018). Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 9(2), e508.
- Bergillos, R. J., López-Ruiz, A., Ortega-Sánchez, M., Masselink, G., & Losada, M. A. (2016). Implications of delta retreat on wave propagation and longshore sediment transport-Guadalfeo case study (southern Spain). Marine Geology, 382, 1-16.
- Betts, R.A., Brown, K., 2021. The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.
- Bonachea, J., Remondo, J., & Rivas, V. (2024). Estuaries in Northern Spain: An Analysis of Their Sedimentation Rates. Sustainability, 16(16), 6856.
- Borja, A., Chust, G., Fontán, A., Garmendia, J. M., & Uyarra, M. C. (2018). Long-term decline of the canopy-forming algae Gelidium corneum, associated to extreme wave events and reduced sunlight hours, in the southeastern Bay of Biscay. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 205, 152–160.
- C3S (2022). European State of the Climate 2021. Copernicus Climate Change Service.
- Cabezas-Rabadán, C., Pardo-Pascual, J. E., Palomar-Vázquez, J., Roch-Talens, A., & Guillén, J. (2024). Satellite observations of storm erosion and recovery of the Ebro Delta coastline, NE Spain. Coastal Engineering, 188, 104451.
- CalvoManazza, M., ComasGonzález, R., FollanaBerná, G., PngGonzález, L., & Carbonell Quetglas, A. (2022). Informe: Evaluación de riesgos de especies alóctonas e invasoras en la Red Natura 2000 marina (Informe del proyecto LIFE IP INTEMARES, LIFE15 IPE/ES/000012). Instituto Español de Oceanografía (IEOCSIC)–Centro Oceanográfico de Baleares. Fundación Biodiversidad, MITECO.
- Campos, Á., García-Valdecasas, J. M., Molina, R., Castillo, C., Álvarez-Fanjul, E., & Staneva, J. (2019). Addressing long-term operational risk management in port docks under climate change scenarios—A Spanish case study. Water, 11(10), 2153.
- Casado-Amezúa, P., Araújo, R. M., Bárbara, I., Bermejo, R., Borja, A., Díez, I., Fernández, C., Gorostiaga, J. M., Guinda, X., Hernández, I., Juanes, J. A., Peña, V., Peteiro, C., Puente, A., Quintana, I., Tuya, F., Viejo, R. M., Altamirano, M., Gallardo, T., & Martínez, B. (2019). Distributional shifts of canopy-forming seaweeds from the Atlantic coast of Southern Europe. Biodiversity and Conservation, 28(5), 1151–1172.
- Cazenave, A., & Cozannet, G. L. (2014). Sea level rise and its coastal impacts. Earth's Future, 2(2), 15-34.
- CIIR (2023). Plà d'adaptació al canvi climàtic dels ports de Catalunya. Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners.
- Cissé, G., R. McLeman, H. Adams, P. Aldunce, K. Bowen, D. Campbell-Lendrum, S. Clayton, K.L. Ebi, J. Hess, C. Huang, Q. Liu, G. McGregor, J. Semenza, and M.C. Tirado, 2022: Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1041–1170.

- Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., ... & Unnikrishnan, A. S. (2013). Sea level change. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.
- Chust, G., Caballero, A., Marcos, M., Liria, P., Hernández, C., & Borja, Á. (2010). Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque (Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 87(1), 113-124.
- Collins, M. et al. (2019) Extremes, abrupt changes and managing risk. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC) (eds. Pörtner, H.-O. et al.) 68 pp. (Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2019).
- Cooley, S., D. Schoeman, L. Bopp, P. Boyd, S. Donner, D.Y. Ghebrehiwet, S.-I. Ito, W. Kiessling, P. Martinetto, E. Ojea, M.-F. Racault, B. Rost, and M. Skern-Mauritzen, 2022: Oceans and Coastal Ecosystems and Their Services. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 379–550, doi:10.1017/9781009325844.005.
- Costa, Y., Martins, I., de Carvalho, G. C., & Barros, F. (2023). Trends of sea-level rise effects on estuaries and estimates of future saline intrusion. Ocean & Coastal Management, 236, 106490.
- Couto, I., Picado, A., Des, M., López-Ruiz, A., Díez-Minguito, M., Díaz-Delgado, R., ... & Dias, J. M. (2024). Climate Change and Tidal Hydrodynamics of Guadalquivir Estuary and Doñana Marshes: A Comprehensive Review. Journal of Marine Science and Engineering, 12(8), 1443.
- CruzPérez, N., Santamarta, J. C., GamalloPaz, I., RodríguezMartín, J., & GarcíaGil, A. (2022). A comparison between carbon footprint of water production facilities in the Canary Islands: groundwater resources vs. seawater desalination. Sustainable Water Resources Management, 8, 121.
- De Alfonso, M., Lin-Ye, J., García-Valdecasas, J. M., Pérez-Rubio, S., Luna, M. Y., Santos-Muñoz, D., ... & Álvarez-Fanjul, E. (2021). Storm Gloria: sea state evolution based on in situ measurements and modeled data and its impact on extreme values. Frontiers in Marine Science, 8, 646873.
- de Andrés, M., Barragán, J. M., & Sanabria, J. G. (2017). Relationships between coastal urbanization and ecosystems in Spain. Cities, 68, 8-17.
- de Azevedo, J., Franco, J. N., Vale, C. G., Lemos, M. F. L., & Arenas, F. (2023). Rapid tropicalization evidence of subtidal seaweed assemblages along a coastal transitional zone. Scientific Reports, 13(1), 11720.
- de la Hoz, C. F., Ramos, E., Puente, A., & Juanes, J. A. (2019). Climate change induced range shifts in seaweeds distributions in Europe. Marine Environmental Research, 148, 1–11.
- de Sales Ribeiro, M. C. (2022). A pathological study of the potential threats to fish health in the Canary Islands (Doctoral dissertation).
- Douville, H., K. Raghavan, J. Renwick, R.P. Allan, P.A. Arias, M. Barlow, R. Cerezo-Mota, A. Cherchi, T.Y. Gan, J. Gergis, D. Jiang, A. Khan, W. Pokam Mba, D. Rosenfeld, J. Tierney, and O. Zolina, 2021: Water Cycle Changes. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055–1210.

- Duarte, B., Martins, I., Rosa, R., Matos, A. R., Roleda, M. Y., Reusch, T. B. H., Engelen, A. H., Serrão, E. A., Pearson, G. A., Marques, J. C., Caçador, I., Duarte, C. M., & Jueterbock, A. (2018). Climate Change Impacts on Seagrass Meadows and Macroalgal Forests: An Integrative Perspective on Acclimation and Adaptation Potential. Frontiers in Marine Science, 5.
- Dufour, F., Arrizabalaga, H., Irigoien, X., & Santiago, J. (2010). Climate impacts on albacore and bluefin tunas migrations phenology and spatial distribution. Progress in Oceanography, 86(1), 283–290.
- Duncan McIntosh, R., & Becker, A. (2017). Seaport climate vulnerability assessment at the multi-port Scale: A review of approaches. Resilience and risk: Methods and application in environment, cyber and social domains, 205-224.
- Ebi, K. L., Vanos, J., Baldwin, J. W., Bell, J. E., Hondula, D. M., Errett, N. A., ... & Berry, P. (2021). Extreme weather and climate change: population health and health system implications. Annual review of public health, 42(1), 293-315.
- EEA European Environmental Agency (2024). European Climate Risk Assessment (Publication No. 01/2024). Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Elmer, F., Hoymann, J., Düthmann, D., Vorogushyn, S., & Kreibich, H. (2012). Drivers of flood risk change in residential areas. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12(5), 1641-1657.risk
- EscuderoGómez, L. A., GonzálezPérez, J. M., & LoisGonzález, R. C. (2022). Spatial and climate governance and policy to tackle the challenges of the Anthropocene: A critical analysis based on the paradigmatic tourism destination of Mallorca (Spain). Climate, 10(11), 175.
- FB Y MITECO. (2023). Resultados del proyecto LIFE INTEMARES: gestión de la Red Natura 2000 marina en España. Madrid: Fundación Biodiversidad, MITECO.
- Ferro-Azcona, H., Espinoza-Tenorio, A., Calderón-Contreras, R., Ramenzoni, V. C., País, M. D. L. M. G., & Mesa-Jurado, M. A. (2019). Adaptive capacity and social-ecological resilience of coastal areas: A systematic review. Ocean & Coastal Management, 173, 36-51.
- Filatova, T., Mulder, J. P. M., & Van der Veen, A. (2011). Coastal risk management: How to motivate individual economic decisions to lower flood risk. Ocean & Coastal Management, 54(2), 164–172.
- Filbee-Dexter, K., & Wernberg, T. (2018). Rise of Turfs: A New Battlefront for Globally Declining Kelp Forests. BioScience, 68(2), 64–76.
- Fox-Kemper, B. et al. Ocean, cryosphere and sea level change. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Inter- governmental Panel on Climate Change (eds. Masson-Delmotte, V. et al.) 1211–1362 (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021).
- Franco, J. N., Tuya, F., Bertocci, I., Rodríguez, L., Martínez, B., Sousa-Pinto, I., & Arenas, F. (2018). The 'golden kelp' Laminaria ochroleuca under global change: Integrating multiple eco-physiological responses with species distribution models. Journal of Ecology, 106(1), 47–58.
- García-Artola, A., Cearreta, A., Irabien, M. J., Leorri, E., Sanchez-Cabeza, J. A., & Corbett, D. R. (2016). Agricultural fingerprints in salt-marsh sediments and adaptation to sea-level rise in the eastern Cantabrian coast (N. Spain). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 171, 66-76.
- García-Romero, L., Delgado-Fernández, I., Hesp, P. A., Hernández-Calvento, L., Hernández-Cordero, A. I., & Viera-Pérez, M. (2019). Biogeomorphological processes in an arid transgressive dunefield as indicators of human impact by urbanization. Science of the Total Environment, 650, 73-86.

- Garrote, J., Díaz-Álvarez, A., Nganhane, H. V., & Garzón Heydt, G. (2018). The severe 2013–14 winter storms in the historical evolution of Cantabrian (Northern Spain) beach-dune systems. Geosciences, 8(12), 459.
- Glavovic, B.C., R. Dawson, W. Chow, M. Garschagen, M. Haasnoot, C. Singh, and A. Thomas, 2022: Cross-Chapter Paper 2: Cities and Settlements by the Sea. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C.Roberts, M.Tignor, E.S.Poloczanska, K.Mintenbeck, A.Alegría, M.Craig, S.Langsdorf, S.Löschke, V.Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2163–2194, doi:10.1017/9781009325844.019.
- González Taboada, F., & Anadón, R. (2014). Seasonality of North Atlantic phytoplankton from space: impact of environmental forcing on a changing phenology (1998–2012). Global Change Biology, 20(3), 698–712.
- Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., Oakley, J. A., & Williams, A. T. (2018). Use of ecosystems in coastal erosion management. Ocean & coastal management, 156, 277-289.
- GRAFCAN (2022). Análisis de riesgos costeros ante el cambio climático en las Islas Canarias. PIMA Adapta-Canarias.
- Gobierno del Principado de Asturias (2021). Plan de adaptación al cambio climático de los puertos autonómicos del Principado de Asturias.
- Gopalakrishnan, T., Hasan, M. K., Haque, A. S., Jayasinghe, S. L., & Kumar, L. (2019). Sustainability of coastal agriculture under climate change. Sustainability, 11(24), 7200.
- Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Corvalán, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. Public health, 120(7), 585-596.
- Hanson, S., Nicholls, R., Ranger, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Herweijer, C., & Chateau, J. (2011). A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. Climatic change, 104, 89-111.
- Hernández, M. M. G., Leon, C. J., García, C., & Lam-González, Y. E. (2023). Assessing the climate-related risk of marine biodiversity degradation for coastal and marine tourism. Ocean & Coastal Management, 232, 106436.
- Hindsley, P., & Yoskowitz, D. (2020). Global change—Local values: Assessing tradeoffs for coastal ecosystem services in the face of sea level rise. Global Environmental Change, 61, 102039.
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., ... & Zhang, Y. (2019). High Mountain Areas. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.
- Hodapp, D., Roca, I. T., Fiorentino, D., Garilao, C., Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., ... & Froese, R. (2023). Climate change disrupts core habitats of marine species. Global Change Biology, 29(12), 3304-3317.
- Ibáñez, C., Day, J. W., & Reyes, E. (2014). The response of deltas to sea-level rise: natural mechanisms and management options to adapt to high-end scenarios. Ecological Engineering, 65, 122-130.
- ICGC (2018). LIFE EBRO-ADMICLIM: Adaptación y mitigación del cambio climático en el delta del Ebro. 2014-2018. ICGC/IRTA.
- ICGC (2021). Informe de riscos a la costa catalana enfront del canvi climàtic (projecte PIMA Adapta Costas). PIMA Adapta-Cataluña.

- IHCantabria (2017). Asistencia Técnica a la elaboración de un estudio sobre la adaptación al cambio climático de la costa del Principado de Asturias. PIMA Adapta-Asturias (piloto).
- IHCantabria (2021a). Análisis de los riesgos del cambio climático en la costa de Cantabria. PIMA Adapta-Cantabria.
- IHCantabria (2021b). Informe de riesgos de la costa frente al cambio climático, para evaluar la vulnerabilidad y exposición de activos naturales y socioeconómicos en la Región de Murcia. PIMA Adapta-Murcia.
- IHCantabria (2021c). Plan de adaptación de los puertos autonómicos de Cantabria.
- IHCantabria (2021d). Plan autonómico de adaptación de los terrenos de dominio público marítimo-terrestre adscritos a la comunidad autónoma de Murcia.
- IHOBE (2022). KOSTAEGOKI. Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa del País Vasco frente al cambio climático. I. Análisis de vulnerabilidad y riesgo. SOCIB (2021). Análisis de los riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears. PIMA Adapta-País Vasco.
- INE (2023). *Cuenta Satélite del Turismo en España. Serie 2019-2022*. Instituto Nacional de Estadística.
- IPCC (2019) IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 755 pp. https://doi.org/10.1017/9781009157964.
- IPCC (2022) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Gonzalez-Lamuno, P., & Stenek, V. (2020). Seaport climate change impact assessment using a multi-level methodology. Maritime Policy & Management, 47(4), 544-557.
- Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Vigh, J. L., & Stenek, V. (2021). Climate change risk to global port operations. Nature Climate Change, 11(1), 14-20.
- Jimenez-Martinez, J., Garcia-Arostegui, J. L., Hunink, J. E., Contreras, S., Baudron, P., & Candela, L. (2016). The role of groundwater in highly human-modified hydrosystems: a review of impacts and mitigation options in the Campo de Cartagena-Mar Menor coastal plain (SE Spain). Environmental Reviews, 24(4), 377-392.
- Junta de Andalucía. (2025). Relación de concesiones en el dominio público marítimoterrestre (PubliWeb). Recuperado el 10 de agosto de 2025 de https://portalrediam.cica.es/mapea/PIMA/riesgos/
- Kersting, D. K., Teixidó, N., & Linares, C. (2014). Recruitment and mortality of the temperate coral Cladocora caespitosa: implications for the recovery of endangered populations. Coral Reefs, 33(2), 403–407.
- Kersting, D. K. (2016). Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 166 Pág.
- Ketabchi, H., Mahmoodzadeh, D., Ataie-Ashtiani, B., & Simmons, C. T. (2016). Sea-level rise impacts on seawater intrusion in coastal aquifers: Review and integration. Journal of Hydrology, 535, 235-255.

- Kroeger, K. D., Crooks, S., Moseman-Valtierra, S., & Tang, J. (2017). Restoring tides to reduce methane emissions in impounded wetlands: A new and potent Blue Carbon climate change intervention. Scientific reports, 7(1), 11914.
- Lara, J. L., Lucio, D., Tomas, A., Di Paolo, B., & Losada, I. J. (2019). High-resolution time-dependent probabilistic assessment of the hydraulic performance for historic coastal structures: application to Luarca Breakwater. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 377(2155), 20190016.
- Lawrence, J., Blackett, P., & Cradock-Henry, N. A. (2020). Cascading climate change impacts and implications. Climate Risk Management, 29, 100234.
- León-Mateos, F., Sartal, A., López-Manuel, L., & Quintás, M. A. (2021). Adapting our sea ports to the challenges of climate change: Development and validation of a Port Resilience Index. Marine Policy, 130, 104573.
- Linares, C., Cebrian, E., Kipson, S., & Garrabou, J. (2013). Does thermal history influence the tolerance of temperate gorgonians to future warming? Marine Environmental Research, 89, 45–52.
- Lincke, D., & Hinkel, J. (2021). Coastal migration due to 21st century sea-level rise. Earth's Future, 9(5), e2020EF001965.
- Liquete, C., Piroddi, C., Drakou, E. G., Gurney, L., Katsanevakis, S., Charef, A., & Egoh, B. (2013). Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. PloS one, 8(7), e67737.
- Losada, I., Izaguirre, C. & Diaz, P. (2014). Cambio climático en la costa española. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 133 pp.
- Losada, I. J., Toimil, A., Munoz, A., Garcia-Fletcher, A. P., & Diaz-Simal, P. (2019). A planning strategy for the adaptation of coastal areas to climate change: The Spanish case. Ocean & Coastal Management, 182, 104983.
- Loomis, J., & Santiago, L. (2013). Economic valuation of beach quality improvements: Comparing incremental attribute values estimated from two stated preference va- luation methods. Coastal Management, 41, 75–86.
- Lucio, D., Lara, J. L., Tomás, A., & Losada, I. J. (2024). Projecting compound wave and sea-level events at a coastal structure site under climate change. Coastal Engineering, 189, 104490.
- Luque, P., Gómez-Pujol, L., Marcos, M., & Orfila, A. (2021). Coastal flooding in the Balearic Islands during the twenty-first century caused by sea-level rise and extreme events. Frontiers in Marine Science, 8, 676452.
- Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., & Nicholls, R. J. (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment. PloS one, 10(3), e0118571.
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. science, 328(5985), 1517-1520.
- Nicholls, R. J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., Vafeidis, A. T., Meyssignac, B., ... & Fang, J. (2021). A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. Nature Climate Change, 11(4), 338-342.
- Nirandjan, S., Koks, E. E., Ye, M., Pant, R., Van Ginkel, K. C., Aerts, J. C., & Ward, P. J. (2024). Physical vulnerability database for critical infrastructure hazard risk assessments–a systematic review and data collection. Natural Hazards and Earth System Sciences, 24(12), 4341-4368.

- Mandiola, G., Galparsoro, I., Valle, M., Garmendia, J. M., Garnier, R., Franco, J., ... & Fernandes-Salvador, J. A. (2025). Projections of intertidal estuarine seagrass distribution under climate change scenarios using a Bayesian network approach. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 313, 109093.
- MAPA (2020). Demografía de la población costera en España 2020 (Análisis y Prospectiva – Serie Pesca nº 5). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España.
- MAPA (2023). *Informe sobre regadíos en España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MAPA y MITECO. (2023). Encuesta Económica de Pesca Marítima (tabla de macro magnitudes: Valor Añadido Bruto y Neto por zonas pesqueras).
- Marbà, N., & Duarte, C. M. (2010). Mediterranean warming triggers seagrass (Posidonia oceanica) shoot mortality. Global change biology, 16(8), 2366-2375.
- Marbà, N., Díaz-Almela, E., & Duarte, C. M. (2014). Mediterranean seagrass (Posidonia oceanica) loss between 1842 and 2009. Biological Conservation, 176, 183–190.
- Marbà, N., Jorda, G., Agusti, S., Girard, C., & Duarte, C. M. (2015). Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. Frontiers in Marine Science, 2.
- Martín, M., Hernández-Crespo, C., Andrés-Doménech, I., & Benedito-Durá, V. (2020). Fifty years of eutrophication in the Albufera lake (Valencia, Spain): Causes, evolution and remediation strategies. Ecological Engineering, 155, 105932.
- Martín, P., Sabatés, A., Lloret, J., & Martin-Vide, J. (2012). Climate modulation of fish populations: the role of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) in sardine (Sardina pilchardus) and anchovy (Engraulis encrasicolus) production in the north-western Mediterranean. Climatic Change, 110(3), 925–939.
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., Sánchez, P., & Montes, J. A. (2019). Methodology for the damage assessment of vehicles exposed to flooding in urban areas. Journal of Flood Risk Management, 12(3), e12475.
- Mat, N., Cerceau, J., Shi, L., Park, H. S., Junqua, G., & Lopez-Ferber, M. (2016). Socio-ecological transitions toward low-carbon port cities: Trends, changes and adaptation processes in Asia and Europe. Journal of Cleaner Production, 114, 362-375.
- Mehvar, S., Filatova, T., Dastgheib, A., De Ruyter van Steveninck, E., & Ranasinghe, R. (2018). Quantifying economic value of coastal ecosystem services: a review. Journal of marine science and engineering, 6(1), 5.
- Meredith, M., Sommerkorn, M., Cassotta, S., Derksen, C., Ekaykin, A., Hollowed, A., ... & Muelbert, M. M. C. (2019). Polar Regions. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.
- MITECO (2017). Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- MITECO (2020a). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030. Gobierno de España.
- MITECO (2020b). PIMA Adapta Costas [Proyecto dentro del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Oficina Española de Cambio Climático.
- MITECO (2021a). Planes autonómicos de adaptación de los terrenos de dominio público marítimo-terrestre adscritos a las comunidades autónomas españolas. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Oficina Española de Cambio Climático.

- MITECO. (2021b). Inventario Español de Patrimonio Natural y Biodiversidad. Gobierno de España.
- MITECO (2022a). Plan Nacional de Salud y Medio Ambiente (PNSMA). Gobierno de España.
- MITECO (2022b). Plan Estratégico Nacional para la Protección de la Costa Española considerando los Efectos del Cambio Climático. Memoria del Plan. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España.
- MITECO (2023). Plan Estratégico de Hmedales a 2030. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- MITECO – DGA (2023). Planes hidrológicos de cuenca 2021–2027: tercer ciclo de planificación hidrológica (Directiva Marco del Agua). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Dirección General del Agua.
- MITECO. (2025). Registro de usos en dominio público marítimoterrestre. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/procedimientos-gestion-dominio-publico-maritimo-terrestre/registro-usos-dpmt.html
- Molina, J. L., García Aróstegui, J. L., Benavente, J., Varela, C., de la Hera, A., & López Geta, J. A. (2009). Aquifers overexploitation in SE Spain: a proposal for the integrated analysis of water management. Water Resources Management, 23, 2737-2760.
- Möller, I., Kudella, M., Rupprecht, F., Spencer, T., Paul, M., Van Wesenbeeck, B. K., ... & Schimmels, S. (2014). Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. Nature Geoscience, 7(10), 727-731.
- Mogollón, S. L., Zilio, M. I., Buitrago, E. M., Caraballo, M. Á., & Yñiguez, R. (2024). Economic impact of Rugulopteryx okamurae (Dictyotales, Ochrophyta) along the Andalusian coastline: the case of Tarifa, Spain. Wetlands Ecology and Management, 32(1), 19-32.
- Observatorio de la Sostenibilidad (2023). https://www.observatoriosostenibilidad.org/
- Oelsmann, J., Marcos, M., Passaro, M., Sanchez, L., Dettmering, D., Dangendorf, S., & Seitz, F. (2024). Regional variations in relative sea-level changes influenced by nonlinear vertical land motion. Nature Geoscience, 17(2), 137-144.
- Ondiviela, B., Losada, I. J., Lara, J. L., Maza, M., Galván, C., Bouma, T. J., & van Belzen, J. (2014). The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. Coastal Engineering, 87, 158–168.
- Ondiviela, B., Galván, C., Recio, M., Jiménez, M., Juanes, J. A., Puente, A., & Losada, I. J. (2020). Vulnerability of Zostera noltei to Sea Level Rise: the Use of Clustering Techniques in Climate Change Studies. Estuaries and Coasts, 43(8).
- O'Neill, B., M. van Aalst, Z. Zaiton Ibrahim, L. Berrang Ford, S. Bhadwal, H. Buhaug, D. Diaz, K. Frieler, M. Garschagen, A. Magnan, G. Midgley, A. Mirzabaev, A. Thomas, and R. Warren, 2022: Key Risks Across Sectors and Regions. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 2411–2538, doi:10.1017/9781009325844.025.
- Oppenheimer, M. et al. Sea-level rise and Implications for Low Lying Islands, Coasts and Communities. In Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC) (eds. Pörtner, H.- O.) 126 pp. (Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2019).

- Oprandi, A., Mucerino, L., De Leo, F., Bianchi, C. N., Morri, C., Azzola, A., ... & Montefalcone, M. (2020). Effects of a severe storm on seagrass meadows. Science of the Total Environment, 748, 141373.
- Parmesan, C., & Hanley, M. E. (2015). Plants and climate change: complexities and surprises. Annals of Botany, 116(6), 849–864.
- Portillo Juan, N., Negro Valdecantos, V., & del Campo, J. M. (2022). Review of the impacts of climate change on ports and harbours and their adaptation in Spain. Sustainability, 14(12), 7507.
- Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, H. Adams, et al. (2022) Technical Summary. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118.
- Piñeiro-Corbeira, C., Barreiro, R., & Cremades, J. (2016). Decadal changes in the distribution of common intertidal seaweeds in Galicia (NW Iberia). Marine Environmental Research, 113, 106-115.
- Png-Gonzalez, L., Comas-González, R., Calvo-Manazza, M., Follana-Berná, G., Ballesteros, E., Díaz-Tapia, P., ... & Carbonell, A. (2023). Updating the national baseline of non-indigenous species in Spanish marine waters. Diversity, 15(5), 630.
- Pontee, N. (2013). Defining coastal squeeze: A discussion. Ocean & coastal management, 84, 204-207.
- Ports IB (2021). Plan de adaptación al cambio climático de los puertos de las Illes Balears.
- Puertos del Estado (2015). Informe anual 2014 del Sistema Portuario de Titularidad Estatal. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
- Puertos del Estado (2023). Informe anual 2022 del Sistema Portuario de Titularidad Estatal. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
- Ramos, E., Juanes, J. A., Galván, C., Neto, J. M., Melo, R., Pedersen, A., ... & González, B. (2012). Coastal waters classification based on physical attributes along the NE Atlantic region. An approach for rocky macroalgae potential distribution. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 112, 105-114.
- Ramos, E., Puente, A. & Juanes, J.A. (2015). An ecological classification of rocky shores at a regional scale: a predictive tool for management of conservation values. Marine Ecology, 37, 311-328.
- Ramos, E., de Terán, J. R. D., Puente, A., & Juanes, J. A. (2016). The role of geomorphology in the distribution of intertidal rocky macroalgae in the NE Atlantic region. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 179, 90-98.
- Ramos, E., Guinda, X., Puente, A., de la Hoz, C. F., & Juanes, J. A. (2020). Changes in the distribution of intertidal macroalgae along a longitudinal gradient in the northern coast of Spain. Marine Environmental Research, 157, 104930.
- Ranasinghe, R. (2016). Assessing climate change impacts on open sandy coasts: A review. Earth-science reviews, 160, 320-332.

- Ranasinghe, R., A.C. Ruane, R. Vautard, N. Arnell, E. Coppola, F.A. Cruz, S. Dessai, A.S. Islam, M. Rahimi, D. Ruiz Carrascal, J. Sillmann, M.B. Sylla, C. Tebaldi, W. Wang, and R. Zaaboul, 2021: Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1767–1926
- Reimann, L., Merkens, J. L., & Vafeidis, A. T. (2018). Regionalized Shared Socioeconomic Pathways: narratives and spatial population projections for the Mediterranean coastal zone. Regional Environmental Change, 18, 235-245.
- Ridha, T., Ross, A. D., & Mostafavi, A. (2022). Climate change impacts on infrastructure: Flood risk perceptions and evaluations of water systems in coastal urban areas. International Journal of Disaster Risk Reduction, 73, 102883.
- Ritchie, P. D., Clarke, J. J., Cox, P. M., & Huntingford, C. (2021). Overshooting tipping point thresholds in a changing climate. Nature, 592(7855), 517-523.
- Rius, M., Turon, X., Morán, P., Pérez, J., Almón, B., Pahad, G., ... & Vázquez, E. (2024). A morphogenetic characterisation of a potentially dominant African marine species in Europe. Biological Invasions, 26(9), 2811-2818.
- Rocha, J. C., Yletyinen, J., Biggs, R., Blenckner, T., & Peterson, G. D. (2015). Marine regime shifts: Drivers and impacts on ecosystems services. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 370(1659), 20130273.
- Rodríguez-Estrella, T. (2012). The problems of overexploitation of aquifers in semi-arid areas: The Murcia Region and the Segura Basin (South-east Spain) case. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 9(5), 5729-5756.
- Ros, M. (2025, 26 de julio). DATOS | Más de la mitad de los edificios en riesgo por la ley de costas son residenciales. Newtral Data. https://www.newtral.es/edificios-ley-costas/20250726/
- Rosenzweig, C., D. Peters, W.D. Solecki, R. Blake, K. Jacob, and B. Holland, 2022: Sustained urban climate assessment. In Climate Change and U.S. Cities: Urban Systems, Sectors, and Prospects for Action. W.D. Solecki and C. Rosenzweig, Eds., Island Press, pp. 261-304.
- Roy, P., Pal, S. C., Chakrabortty, R., Chowdhuri, I., Saha, A., & Shit, M. (2023). Effects of climate change and sea-level rise on coastal habitat: Vulnerability assessment, adaptation strategies and policy recommendations. Journal of Environmental Management, 330, 117187.
- Sabatés, A., Martín, P., Lloret, J., & Raya, V. (2006). Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, Sardinella aurita, in the western Mediterranean. Global Change Biology, 12(11), 2209–2219.
- Sadiq, M., Ali, S. W., Terriche, Y., Mutarraf, M. U., Hassan, M. A., Hamid, K., ... & Guerrero, J. M. (2021). Future greener seaports: A review of new infrastructure, challenges, and energy efficiency measures. Ieee Access, 9, 75568-75587.
- Sainz-Villegas, S., Sánchez-Astráin, B., Puente, A., & Juanes, J. A. (2023). Characterization of Gelidium corneum's (Florideophyceae, Rhodophyta) vegetative propagation process under increasing levels of temperature and irradiance. Marine Environmental Research, 187, 105966.

- Sanchez-Arcilla, A., Jimenez, J. A., & Valdemoro, H. I. (1998). The Ebro Delta: morphodynamics and vulnerability. Journal of Coastal Research, 755-772.
- Sánchez-Arcilla, A., Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., & Gracia, V. (2008). Implications of climatic change on Spanish Mediterranean low-lying coasts: The Ebro delta case. Journal of Coastal Research, 24(2), 306-316.
- Sánchez-Artús, X., Gracia, V., Espino, M., Sierra, J. P., Pinyol, J., & Sánchez-Arcilla, A. (2023). Present and future flooding and erosion along the NW Spanish Mediterranean Coast. Frontiers in marine science, 10, 1125138.
- Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Sardain, A., Sardain, E., & Leung, B. (2019). Global forecasts of shipping traffic and biological invasions to 2050. Nature Sustainability, 2(4), 274-282.
- Scholes, R. J. (2016). Climate change and ecosystem services. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 7(4), 537-550.
- Schuerch, M., Spencer, T., Temmerman, S., Kirwan, M. L., Wolff, C., Lincke, D., ... & Brown, S. (2018). Future response of global coastal wetlands to sea-level rise. Nature, 561(7722), 231-234.
- Shukla, P.R., J. Skea, R. Slade, R. van Diemen, E. Haughey, J. Malley, M. Pathak, J. Portugal Pereira (eds.) Technical Summary, 2019. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M, Belkacemi, J. Malley, (eds.)].
- Sierra, J. P., Casanovas, I., Mösso, C., Mestres, M., & Sánchez-Arcilla, A. (2016). Vulnerability of Catalan (NW Mediterranean) ports to wave overtopping due to different scenarios of sea level rise. Regional Environmental Change, 16, 1457-1468.
- Sierra, J. P. (2019). Economic impact of overtopping and adaptation measures in Catalan ports due to sea level rise. Water, 11(7), 1440.
- Sierra, J. P., Sánchez-Arcilla, A., Gironella, X., Gracia, V., Altomare, C., Mösso, C., ... & Barahona, C. (2023). Impact of climate change on berthing areas in ports of the Balearic Islands: adaptation measures. Frontiers in Marine Science, 10, 1124763.
- SOCIB (2021). Análisis de los riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears. PIMA Adapta-Baleares.
- Suárez de Vivero, J. L., & Rodríguez Mateos, J. C. (2005). Coastal crisis: the failure of coastal management in the Spanish Mediterranean region. Coastal Management, 33(2), 197-214.
- Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E. T., Fraschetti, S., ... & Salomidi, M. (2015). Seagrass meadows (Posidonia oceanica) distribution and trajectories of change. Scientific reports, 5(1), 12505.
- Thurston, A. M., Stöckl, H., & Ranganathan, M. (2021). Natural hazards, disasters and violence against women and girls: a global mixed-methods systematic review. BMJ global health, 6(4).

- Toimil, A., Losada, I. J., Camus, P., & Díaz-Simal, P. (2017a). Managing coastal erosion under climate change at the regional scale. Coastal Engineering, 128, 106-122.
- Toimil, A., Losada, I. J., Díaz-Simal, P., Izaguirre, C., & Camus, P. (2017B). Multi-sectoral, high-resolution assessment of climate change consequences of coastal flooding. Climatic Change, 145, 431-444.
- Toimil, A., Díaz-Simal, P., Losada, I. J., & Camus, P. (2018). Estimating the risk of loss of beach recreation value under climate change. Tourism Management, 68, 387-400.
- Toimil, A., Camus, P., Losada, I. J., Le Cozannet, G., Nicholls, R. J., Idier, D., & Maspataud, A. (2020). Climate change-driven coastal erosion modelling in temperate sandy beaches: Methods and uncertainty treatment. Earth-Science Reviews, 202, 103110.
- Toimil, A., Losada, I. J., Álvarez-Cuesta, M., & Le Cozannet, G. (2023a). Demonstrating the value of beaches for adaptation to future coastal flood risk. Nature Communications, 14(1), 3474.
- Tuya, F., Cacabelos, E., Duarte, P., Jacinto, D., JJ, C., Silva, T., Bertocci, I., JN, F., Arenas, F., Coca, J., & Wernberg, T. (2012). Patterns of landscape and assemblage structure along a latitudinal gradient in ocean climate. Marine Ecology Progress Series, 466, 9–19.
- UICN (2013) Invasive alien species in marine and coastal areas. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2013-007.pdf
- UICN (2023). Invasive alien species: Global status and trends. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/invasive-alien-species.
- U.S. Global Change Research Program. (2016). The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment (Scientific Assessment). Washington, DC: U.S. Global Change Research Program. https://health2016.globalchange.gov
- Valle, M., Chust, G., del Campo, A., Wisz, M. S., Olsen, S. M., Garmendia, J. M., & Borja, A. (2014). Projecting future distribution of the seagrass Zostera noltii under global warming and sea level rise. Biological Conservation, 170, 74–85.
- Verdura, J., Santamaría, J., Ballesteros, E., Smale, D. A., Cefalì, M. E., Golo, R., de Caralt, S., Vergés, A., & Cebrian, E. (2021). Local-scale climatic refugia offer sanctuary for a habitat-forming species during a marine heatwave. Journal of Ecology, 109(4), 1758–1773.
- Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2020). Port disruptions due to natural disasters: Insights into port and logistics resilience. Transportation research part D: transport and environment, 85, 102393.
- Verschuur, J., Koks, E. E., Li, S., & Hall, J. W. (2023). Multi-hazard risk to global port infrastructure and resulting trade and logistics losses. Communications Earth & Environment, 4(1), 5.
- Vineis, P., Chan, Q., & Khan, A. (2011). Climate change impacts on water salinity and health. Journal of epidemiology and global health, 1(1), 5-10.

- Visores PIMA Adapta-Costas:
  - https://portalrediam.cica.es/mapea/PIMA/riesgos/ (Andalucía);
  - https://mapas.cantabria.es/ (Cantabria).
  - https://visors.icgc.cat/PIMA-AdaptaCostas (Cataluña);
  - https://geoadaptacostes.gva.es/ (Comunidad Valenciana).
  - https://experience.arcgis.com/experience/2d36958630024f2bb1f1611d0864b8b4 (Galicia). https://ideib.caib.es/impactes_costa_canvi_climatic/es/ (Islas Baleares).
  - https://grafcan1.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=a1bc45dd09994ac1979479fcff4db989 (Islas Canarias).
  - https://gis.ihobe.eus/kostaegoki/ (País Vasco);
  - https://c3e-asturias.ihcantabria.com (Principado de Asturias).
  - https://pimamurcia.ihcantabria.es/visor/ (Murcia).

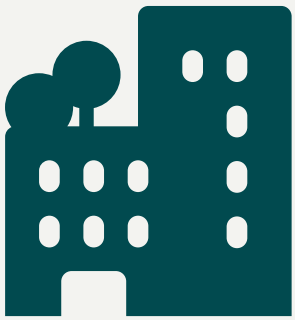
- Von Holle, B., Irish, J. L., Spivy, A., Weishampel, J. F., Meylan, A., Godfrey, M. H., ... & Taylor, N. R. (2019). Effects of future sea level rise on coastal habitat. The Journal of Wildlife Management, 83(3), 694-704.
- Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Bianchi, A., Dottori, F., & Feyen, L. (2018). Climatic and socioeconomic controls of future coastal flood risk in Europe. Nature Climate Change, 8(9), 776-780.
- Wernberg, T., Thomsen, M. S., Baum, J. K., Bishop, M. J., Bruno, J. F., Coleman, M. A., Filbee-Dexter, K., Gagnon, K., He, Q., Murdiyarso, D., Rogers, K., Silliman, B. R., Smale, D. A., Starko, S., & Vanderklift, M. A. (2024). Impacts of Climate Change on Marine Foundation Species. Annual Review of Marine Science, 16, 247–282.
- Werner, A. D., Bakker, M., Post, V. E., Vandenbohede, A., Lu, C., Ataie-Ashtiani, B., ... & Barry, D. A. (2013). Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. Advances in water resources, 51, 3-26.
- Whitney, C. K., Bennett, N. J., Ban, N. C., Allison, E. H., Armitage, D., Blythe, J. L., ... & Yumagulova, L. (2017). Adaptive capacity: from assessment to action in coastal social-ecological systems. Ecology and Society
- Yenew, C., Bayeh, G. M., Gebeyehu, A. A., Enawgaw, A. S., Asmare, Z. A., Ejigu, A. G., ... & Yeshiwas, A. G. (2025). Scoping review on assessing climate-sensitive health risks. BMC public health, 25(1), 914ty, 22(2).

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Ciudad,
urbanismo y edificación



GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autor: Beñat Abajo Alda (Tecnalia)

Contribuyentes: María Ayelén Calvet (Tecnalia), Daniel Navarro Cueto (Tecnalia), Efrén Feliu Torres (Tecnalia)

Agradecimientos: Igone García Pérez (Tecnalia), Estibaliz Valtierra izarralde (Tecnalia)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Abajo, B. (2025). Ciudad, urbanismo y edificación. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 810

2. Introducción / pág. 812

3. Riesgos relevantes del sector de Ciudad, urbanismo y edificación / pág. 814

4. Riesgos clave del sector de Ciudad, urbanismo y edificación / pág. 823

   4.1. RC7.1: Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos / pág. 824

   4.2. RC7.2: Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas) / pág. 838

   4.3. RC7.3. Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas / pág. 852

   4.4. RC7.4. Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas / pág. 863

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 874

6. Caso de estudio / pág. 879

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 881

8. Referencias / pág. 884

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo del ámbito de Ciudad, urbanismo y edificación de la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (IPCC, 2021). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p.ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022a). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intrasectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos**. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en la Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

En el ámbito europeo, según el portal Climate-ADAPT (n.d.), se prevé que el porcentaje de población urbana en la Unión Europea (UE) aumente del actual 74 % a más del 83 % para el año 2050. En España este porcentaje es aún mayor, ya que el 88 % de la población ya reside en zonas urbanas (INE, n.d.). Este crecimiento urbano plantea importantes desafíos de adaptación para las ciudades, que no solo constituyen el principal hábitat humano, sino que también deberán enfrentarse a la intensificación de múltiples peligros climáticos. Por ejemplo, la torrencialidad de las lluvias aumentará significativamente a corto plazo (hacia 2040), lo que incrementará el riesgo de inundaciones y, con ello, la posible afectación a infraestructuras clave, como las de agua y energía, y los servicios asociados a estas (CEDEX, 2021). En cuanto a las temperaturas, se proyecta un aumento progresivo a lo largo del siglo (Amblar Francés *et al.*, 2017). Según los escenarios de cambio climático (AdapteCCa, n.d.), el incremento sería de 1,01 °C (RCP 4.5) y 1,23 °C (RCP 8.5) en el futuro cercano (2011-2040), y de 1,93 °C (RCP 4.5) y 2,63 °C (RCP 8.5) en el futuro medio (2041-2070). Estos valores tienen impactos directos en el confort térmico y las condiciones de salud de los habitantes, así como en las infraestructuras y la energía.

Las ciudades se enfrentan a un conjunto diverso de peligros climáticos que varían según su ubicación geográfica y características. En el caso de las ciudades costeras, el incremento del nivel del mar constituye una preocupación importante. Según los informes de PIMA Adapta Costa (IHOBE, 2022); (Marcos, M. *et al.*, 2021), se prevén aumentos significativos del nivel del mar para 2050. Por su parte, las ciudades en zonas montañosas se enfrentan con un peligro específico: los deslizamientos de tierra. De hecho, las proyecciones señalan un aumento en el riesgo de deslizamientos en regiones europeas sujetas a precipitaciones extremas (EEA, 2024).

Las áreas urbanas centralizan una amplia diversidad de actividades y son el eje de numerosos sectores económicos, sociales y ambientales. Las ciudades dependen intensamente de recursos clave como el agua, no solo para el consumo humano, sino también para actividades industriales y económicas. Además, albergan infraestructuras fundamentales como las de transporte, energía y comunicaciones. Paralelamente, estos entornos complejos también concentran conflictos asociados a la violencia y la inseguridad, lo que conecta directamente con otro de los sectores analizados en esta evaluación: el sector de *Paz, seguridad y cohesión social*. En España, además, las ciudades son fuente de grandes ingresos en el sector turístico.

Esta combinación de factores hace que las ciudades se enfrenten a impactos de diversa naturaleza, con pérdidas y daños significativos que afectan a los sectores que convergen en ellas. En

España, cada año se producen una media de 10 episodios graves de inundación urbana. Según el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS, 2017), los daños materiales ocasionados por estos eventos se han triplicado en las últimas cinco décadas debido al aumento tanto en la frecuencia e intensidad de dichos eventos como en el número de bienes asegurados. Asimismo, el Barómetro de Catástrofes de la Fundación AON España (2023) señala que, solo en 2023, hubo 37 muertes en España debidas a desastres naturales. Sin embargo, un solo evento excepcional, como la dana de 2024, en unas pocas horas produjo 236 víctimas mortales confirmadas (228 en Comunidad Valenciana, 7 en Castilla-La Mancha y 1 en Andalucía) (Gobierno de España, 2025), convirtiéndose en el peor evento catastrófico de los últimos 50 años (Levante, 2024).

De cara al futuro, los riesgos asociados a fenómenos extremos seguirán en aumento. En 2050, bajo un escenario de emisiones medias a altas, el *G20 Climate Risks Atlas* (CMCC, 2021) estima que los daños anuales causados por eventos extremos en la infraestructura energética de la UE podrían multiplicarse casi por siete en comparación con la actualidad.

Teniendo en cuenta la situación descrita, el presente capítulo elabora el diagnóstico de los impactos y riesgos derivados del cambio climático en el sector *Ciudad, urbanismo y edificación* de nuestro país, incluyendo determinados subelementos que son descritos en el apartado siguiente.

3. Riesgos relevantes del sector de Ciudad, urbanismo y edificación

Los riesgos relevantes del sector *Ciudad, urbanismo y edificación* son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas en el sector y que pueden llegar a afectar negativamente la operatividad, funcionalidad y sostenibilidad de éste. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad que caracteriza al sector, y pueden cambiar con el tiempo y el espacio debido a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas (Reisinger *et al.*, 2020).

De acuerdo con la literatura científica, el ámbito urbano se encuentra expuesto a una alta diversidad de peligros climáticos, entre los que destacan las olas de calor (AdapteCCa, n.d.), las sequías (Amblar Francés *et al.*, 2017); (*El País*, 2024), las fuertes granizadas (AEMET, 2022), las inundaciones fluviales, pluviales (EEA, 2024) (CEDEX, 2021) y costeras (IHOBE, 2022); (Marcos, M. *et al.*, 2021), los incendios (CIVIO, n.d.) y los deslizamientos de tierra (CEDEX, 2018). Otros peligros como las heladas y nevadas, por el contrario, si bien tienen el potencial de producir un impacto sobre el sector, no son tan relevantes desde el punto de vista del cambio climático, puesto que tenderán a reducirse a lo largo del siglo como consecuencia del aumento de las temperaturas (Amblar Francés *et al.*, 2017); (EEA, 2024). En el Capítulo de Variables climáticas se recoge que las observaciones climáticas recientes muestran un calentamiento sostenido, con un aumento notable de la temperatura media desde 1980, especialmente en la zona mediterránea, y un incremento de olas de calor, que son ahora más frecuentes, intensas y prolongadas. También se observa una mayor variabilidad hidrológica, con sequías meteorológicas más persistentes y severas, especialmente en el sureste y el valle del Ebro. Además, se destaca la intensificación de eventos de lluvia extrema, sobre todo en el este peninsular, y una disminución de la velocidad media del viento. El mencionado capítulo indica también que España se enfrentará a un futuro más cálido y seco, con fenómenos extremos más intensos y frecuentes. Se espera una reducción general de las lluvias anuales, aunque con diferencias según la región, y un aumento de episodios como lluvias torrenciales, olas de calor e incendios. En el centro y sur peninsular, el riesgo de incendios crecerá significativamente, y algunas zonas podrían registrar más de 70 días secos al año.

En general, los peligros previamente descritos afectan a diferentes subelementos del sector. Éstos han sido identificados tomando como referencia el análisis de riesgos del sector denominado 'entorno construido' de la evaluación europea de riesgos climáticos (EEA, 2024) en este caso referidos únicamente a lo que afecta al interior de los perímetros de las ciudades.

Los subelementos que agrupan los diferentes bienes expuestos al riesgo son:

- **Infraestructuras y servicios urbanos:** este subconjunto incluye la infraestructura y los servicios que de ella dependen en los ámbitos de las comunicaciones, la electricidad, el saneamiento y el drenaje.

- **Infraestructuras de transporte urbanas:** en este apartado se incluyen las carreteras y calles, las vías de ferrocarril, los puertos y los puentes.

- **Viviendas y otras edificaciones:** incluye los edificios residenciales y no residenciales.

- **Espacio público:** se refiere al entorno circundante de las viviendas y otras edificaciones, incluyendo así a infraestructuras verdes y mobiliario urbano que no se encuentran integrados en los subelementos de infraestructuras.

- **Interfaz urbano-forestal:** mientras que los cuatro subelementos descritos anteriormente se circunscriben al entorno más urbanizado, este subelemento se refiere a las zonas de transición entre las áreas urbanizadas y los espacios naturales, comúnmente bosques urbanos.

- **Personas:** incluye a todas las personas que habitan en las ciudades y el entorno urbano.

Un mismo riesgo relevante puede afectar a más de un subelemento, y cada uno de los subelementos puede estar expuesto a uno o más riesgos relevantes, según su emplazamiento o ubicación geográfica que condiciona el grado de **exposición**.

En cuanto a los factores de **vulnerabilidad**, si se analiza desde un punto de vista holístico, atendiendo a la aproximación definida por (Eklund *et al.*, 2023), se observa que dicha componente comprende cinco dimensiones:

- La dimensión **físico-tecnológica** hace referencia a la predisposición que presentan las infraestructuras a verse afectadas y atiende a factores diversos como la antigüedad, la frecuencia de mantenimiento y la calidad de los materiales de construcción, entre otros.

- La segunda dimensión describe, por un lado, la situación **económica** de las personas que habitan en las ciudades y el medio construido y, por otro, la capacidad económica de las administraciones públicas para llevar a cabo acciones de prevención del riesgo.

- La siguiente componente, relativa a la vulnerabilidad **social**, explica los factores sociales que pueden aumentar los riesgos del sector (Angeon and Bates, 2015), como, por ejemplo, la inseguridad en la tenencia de la propiedad, las condiciones laborales de los trabajadores, el desconocimiento de los riesgos y de medidas de prevención o de alerta por parte de la ciudadanía, la salud mental, etc.

- La vulnerabilidad **ambiental** representa la cuarta dimensión y se refiere a la dependencia de ciertos recursos básicos como el agua, cuya disponibilidad está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas existentes más allá de los perímetros urbanos. También incluye factores propios del entorno urbano, como la escasez de áreas verdes, la insuficiencia de áreas permeables, y la presencia de zonas naturalmente áridas y susceptibles de desertificación. A ello se suman las prácticas relacionadas con la gestión de los entornos verdes públicos (como el control de incendios o de uso del suelo) y el manejo de ecosistemas en la interfaz urbano-forestal, especialmente en lo que respecta a la prevención de incendios.

- La última dimensión, relativa a la **gobernanza**, engloba la capacidad y proactividad en cuanto a la adopción de estrategias y planes de adaptación para la reducción del riesgo climático, incluyendo a su vez la percepción sobre la eficacia de dichas políticas.

Además de los riesgos directamente asociados a los peligros climáticos —como eventos extremos o cambios graduales en el clima—, existen **riesgos subyacentes** que pueden aumentar o agravar los efectos del cambio climático.

Entre ellos destacan los denominados *riesgos de transición*, que hacen referencia a las cargas asociadas con la preparación de las sociedades y sus economías para el desafío que supone la transición hacia la descarbonización de las economías:

- **Riesgos tecnológicos:** se refieren a los que pueden derivarse de las mejoras o innovaciones tecnológicas. El despliegue de este tipo de tecnologías puede requerir la actualización y reemplazo de las tecnologías antiguas generando costes significativos.

- **Riesgos reputacionales o de percepción:** están relacionados con la percepción de la ciudadanía con respecto a la aplicación de políticas públicas por parte de las administraciones. Una gestión percibida como ineficaz, injusta o poco transparente puede generar desconfianza y alimentar la polarización social en torno a las políticas climáticas, especialmente cuando estas afectan de forma desigual a distintos grupos. Este tipo de tensiones puede derivar en conflictos entre sectores de la sociedad civil o entre la ciudadanía y las instituciones públicas. Este riesgo ha sido abordado en el Capítulo 14 - Paz, seguridad y cohesión social donde se

identifica como relevante *el riesgo de polarización social en torno a las políticas públicas de lucha contra el cambio climático*.

- **Riesgos de gobernanza: s**e refieren a posibles cambios en las políticas, regulaciones, subsidios o incentivos relacionados con el cambio climático —tanto a la mitigación como a la adaptación climática—. Por ejemplo, la incorporación de la nueva normativa europea con mayores exigencias para la adaptación en ciudades, aunque orientada a la adaptación y a la resiliencia climática, puede representar un desafío para las localidades de menor tamaño, al requerir recursos adicionales y generar un aumento de costes para ajustarse a dicha normativa.

Además de los riesgos de transición es importante considerar los **cambios demográficos**. Por un lado, la transformación en la estructura de la población podría aumentar la proporción de personas mayores, más vulnerables a los peligros climáticos. Por otro lado, el crecimiento de la densidad demográfica, impulsado fundamentalmente por las migraciones internacionales (INE, 2024a) hacia las ciudades, podría intensificar la presión sobre sectores clave como el agua y los recursos hídricos, la energía, el transporte y la movilidad, entre otros, al generar una mayor demanda de los servicios asociados.

Por otra parte, existe otro tipo de riesgos subyacentes, derivados de **eventos disruptivos**, también denominados "cisne negro", que son sucesos completamente atípicos e inesperados (p.ej. guerras, pandemias y eventos climáticos excepcionales por su magnitud), los cuales se encuentran fuera del ámbito de lo previsible, de las expectativas habituales, y cuyo impacto tiene una gran repercusión socioeconómica.

La **Figura 1** representa de forma esquemática todos los componentes previamente descritos: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector ante dichos peligros, los diferentes factores de vulnerabilidad y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la *Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático*, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022a). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de los distintos componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector.

Ciudad, urbanismo y edificación

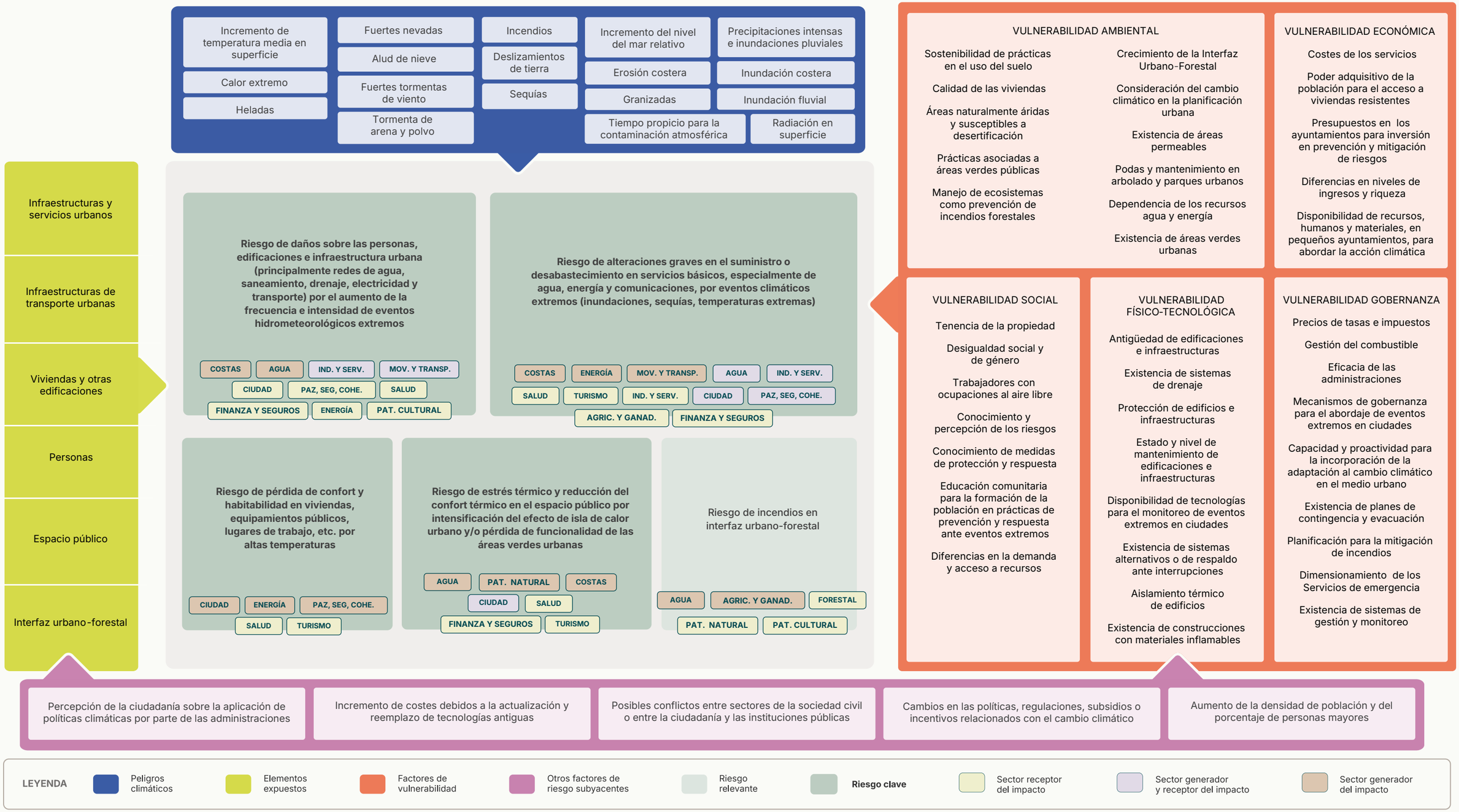


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector de Ciudad, urbanismo y edificación. Fuente: basado en UNDRR (2022a).

Estos riesgos relevantes identificados para el sector se resumen en la Tabla 1. El primero de ellos (RR7.1), el **riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos,** ha sido identificado por diversas fuentes de información, entre ellas (Martínez Juárez *et al.*, 2020); (IPCC, 2022a); (EEA, 2021) y (Naturklima, 2021). Se refiere al potencial de afectaciones a la integridad física de las personas o pérdidas humanas, así como también daños materiales y económicos de diferentes tipos de infraestructura urbana de servicios, transporte y edificaciones (residenciales y no residenciales), debido a fenómenos climáticos extremos como lluvias intensas, huracanes o tormentas, inundaciones fluviales, pluviales o costeras, fuertes vientos, granizadas, deslizamientos de tierra o incendios. Este riesgo podría desencadenar, a su vez, otros impactos en las ciudades y el medio urbano, como un incremento en la demanda de atención sanitaria y de emergencias, la afectación de la movilidad y accesibilidad, un aumento en los costes de los seguros o la interrupción de servicios básicos (provisión de agua, energía, saneamiento, comunicaciones, etc.).

De hecho, este último impacto da lugar al segundo riesgo relevante identificado (RR7.2), el **riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).** Por tanto, se constituye como un riesgo en cascada del primero, ya que es consecuencia directa del daño en las infraestructuras de servicios. Este riesgo también se encuentra mencionado en la bibliografía (IPCC, 2021); (Sanz and Galán, 2020), y se define a partir de que los efectos de fenómenos climáticos extremos, como sequías prolongadas, inundaciones o temperaturas extremas, interrumpen el acceso a recursos esenciales como agua potable, energía y comunicaciones, afectando en consecuencia a la calidad de vida de la población y el funcionamiento de la ciudad. De hecho, los impactos en la población por interrupción de los servicios y sus efectos derivados sobre otros sectores podrían ser mucho mayores que las pérdidas directas debidas a daños en las propias infraestructuras y redes, provocando consecuencias sociales de gran alcance (EEA, 2024). El desabastecimiento o la afección grave a servicios esenciales puede afectar a centenares de miles de personas de manera directa o indirecta, pudiendo conllevar también un incremento en el precio de los servicios ofrecidos, como el precio de la energía (EEA, 2024).

En tercer lugar, se ha identificado el **riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas** (RR7.3)**.** Este riesgo se menciona en documentos como (Abadíe Muñoz and Smid, 2020) o (Sanz and Galán, 2020) y se refiere a las consecuencias de las olas de calor o del incremento sostenido de las temperaturas que reducen la capacidad de las viviendas y otros espacios cerrados para proporcionar

condiciones adecuadas de confort, bienestar y funcionalidad, impactando negativamente en la salud y productividad de las personas. En España, las temperaturas se incrementarán en todos los escenarios de emisiones (AdapteCCa, n.d.). Esto, sumado a que el 81 % de las viviendas tienen una pobre calificación energética (E, F o G) (CSCAE, 2022), debida principalmente a un deficiente aislamiento ligado a la antigüedad de la construcción, puede hacer que este riesgo sea muy alto.

Sin embargo, el estrés térmico urbano también constituye una problemática muy documentada en el exterior de las edificaciones, en parte por el fenómeno de isla de calor urbana. Por este motivo se ha identificado el **riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas** (RR7.4) (Abadíe Muñoz and Smid, 2020); (Naturklima, 2021); (Sanz and Galán, 2020). Este riesgo se refiere a la posibilidad de que las altas temperaturas y la falta de áreas verdes funcionales incrementen el estrés térmico en las personas que usan los espacios públicos, hecho agravado por el efecto isla de calor urbana, que provoca que las ciudades mantengan temperaturas más elevadas que sus alrededores, especialmente durante la noche, debido a la acumulación de calor en superficies urbanizadas. Entre otros impactos asociados a este riesgo, puede producirse reducción del rendimiento laboral, exacerbación de enfermedades preexistentes, golpes de calor, mayor tasa de absentismo, pérdida de biodiversidad urbana, reducción de utilización del espacio público e incluso muerte de personas. Este riesgo ha provocado impactos severos en los últimos años. De hecho, 6 ciudades españolas (Barcelona, Málaga, Madrid, Palma, Sevilla y Valencia) se encuentran entre las 10 primeras de Europa con más muertes en verano debido al efecto isla de calor urbana (Iungman *et al.*, 2023). Además, podría ser un factor agravante del riesgo RR7.3, dado que las condiciones ambientales externas impactan directamente en las temperaturas y el confort térmico dentro de las edificaciones.

Por último, se ha identificado el **riesgo de incendios en interfaz urbano-forestal** (RR7.5)**.** Este se menciona en determinadas cartografías (CIVIO, n.d.) y en (Sanz and Galán, 2020). Se refiere a la probabilidad de que se produzcan incendios en zonas donde las áreas forestales están cercanas o se mezclan con zonas urbanas, representando un peligro significativo para la población, las viviendas y los ecosistemas, especialmente durante períodos de sequía o de calor extremo. Además de los daños potenciales a la integridad física de las personas y las áreas verdes afectadas, los incendios pueden tener impactos indirectos en la salud humana por la contaminación del aire (WMO, 2024), en el almacenamiento de carbono, los asentamientos próximos, las infraestructuras críticas, el turismo y las economías regionales (EEA, 2024). En España, una media de 80 incendios forestales al año tiene consecuencias sobre la población, incluyendo evacuaciones, cortes de vías de comunicación y servicios, infraestructuras dañadas, y hasta muerte de personas (Ministerio de Interior, n.d.).

Aunque el riesgo de incendios en la interfaz urbano-forestal (IUF) no ha sido priorizado como clave en el análisis multicriterio, su relevancia para España es incuestionable debido a su creciente impacto sobre las poblaciones rurales y periurbanas. La expansión urbanística en zonas forestales, junto con el abandono de usos tradicionales del territorio, ha incrementado la exposición de personas, viviendas e infraestructuras a incendios forestales. Este riesgo afecta de forma directa a la seguridad de la población, especialmente en regiones con alta densidad de interfaz, y genera consecuencias indirectas como evacuaciones, interrupciones de servicios esenciales y daños a infraestructuras críticas. Además, su recurrencia y severidad se ven agravadas por el cambio climático, lo que exige una atención continua y medidas preventivas específicas. Cabe destacar que, en el capítulo Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental, se ha identificado como riesgo clave la *pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático*, lo que incluye también las masas situadas en zonas de interfaz urbano-forestal, reforzando así la importancia de este riesgo y la necesidad de considerarlo como relevante[3].

El riesgo de incendios en la interfaz urbano-forestal (IUF) no depende exclusivamente del cambio climático ni de los niveles de calentamiento global. Aunque las altas temperaturas y la mayor frecuencia de olas de calor pueden intensificar su impacto, este riesgo está también vinculado a factores estructurales como la gestión forestal, la planificación territorial, el abandono rural y la acumulación de combustible vegetal. Su abordaje requiere una estrategia integrada que incluya ordenación del territorio, prevención comunitaria y mejora de la respuesta operativa. Además, sus implicaciones ambientales y económicas —como la pérdida de biodiversidad, el impacto en el turismo y el deterioro de ecosistemas— refuerzan su relevancia. Por ello, debe ser objeto de seguimiento continuo y planificación específica en las políticas de gestión del riesgo en España.

[3] El riesgo de incendios en la interfaz urbano-forestal se ha tratado de forma general en el sector forestal, dado el carácter más amplio y transversal de este ámbito. Por este motivo, en el capítulo Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental se ha considerado como riesgo clave la pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático, y se ha analizado con mayor nivel de detalle, evitando duplicidades en el tratamiento del riesgo entre sectores.

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del sector Ciudad, urbanismo y edificación.

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR7.1	Infraestructuras y servicios urbanos; infraestructuras de transporte; viviendas y otras edificaciones; personas	Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos	RC7.1
RR7.2	Infraestructuras y servicios urbanos; personas	Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas)	RC7.2
RR7.3	Viviendas y otras edificaciones; personas	Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas	RC7.3
RR7.4	Espacio público; personas	Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas	RC7.4
RR7.5	Interfaz urbano-forestal; personas	Riesgo de incendios en interfaz urbano-forestal	

4. Riesgos clave del sector de Ciudad, urbanismo y edificación

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición, y en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022b). Para la identificación de los riesgos clave del ámbito de Ciudad, urbanismo y edificación, los cinco riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (Field *et al.*, 2012) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts and Brown, 2021) y en la evaluación europea de los riesgos climáticos (EUCRA) de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector *Ciudad, urbanismo y edificación* y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el Análisis Multicriterio. Aquellos riesgos relevantes que obtuvieron las valoraciones más altas han sido catalogados como "riesgos clave" y son los siguientes:

- RR7.1 Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos (RC7.1).

- RR7.2 Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas) (RC7.2).

- RR7.3 Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas (RC7.3).

- RR7.4 Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas (RC7.4).

A continuación, se describe con mayor nivel de detalle cada uno de estos riesgos clave.

4.1. RC7.1: Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos

Este riesgo ha sido calificado como riesgo clave por diversas razones. En primer lugar, afecta a una gran extensión del territorio nacional: todas las cuencas hidrográficas presentan zonas inundables (MITECO, n.d.) que, en muchos casos coinciden con áreas urbanizadas, lo que incrementa su exposición. En segundo lugar, este riesgo puede afectar a una gran cantidad de población. Aunque eventos extremos como la dana del 29 de octubre de 2024 —que provocó más de 200 muertes— son, por el momento, excepcionales, ilustran el potencial destructivo de este tipo de fenómenos que además tienen grandes impactos económicos. Por último, las inundaciones afectan de forma desproporcionada a grupos sociales en situación de especial vulnerabilidad, como la infancia, las personas mayores, las personas con discapacidad o las personas migrantes, entre otros[4].

La Figura 2 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligros climáticos, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y está modulado por los peligros climáticos, los distintos factores de vulnerabilidad, la exposición y por otros factores del riesgo subyacente que lo amplifican. Del riesgo se derivan potenciales impactos y riesgos en cascada, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

[4] El resto de los motivos por los cuales el riesgo es clave se puede ver con mayor profundidad en el Análisis Multicriterio.

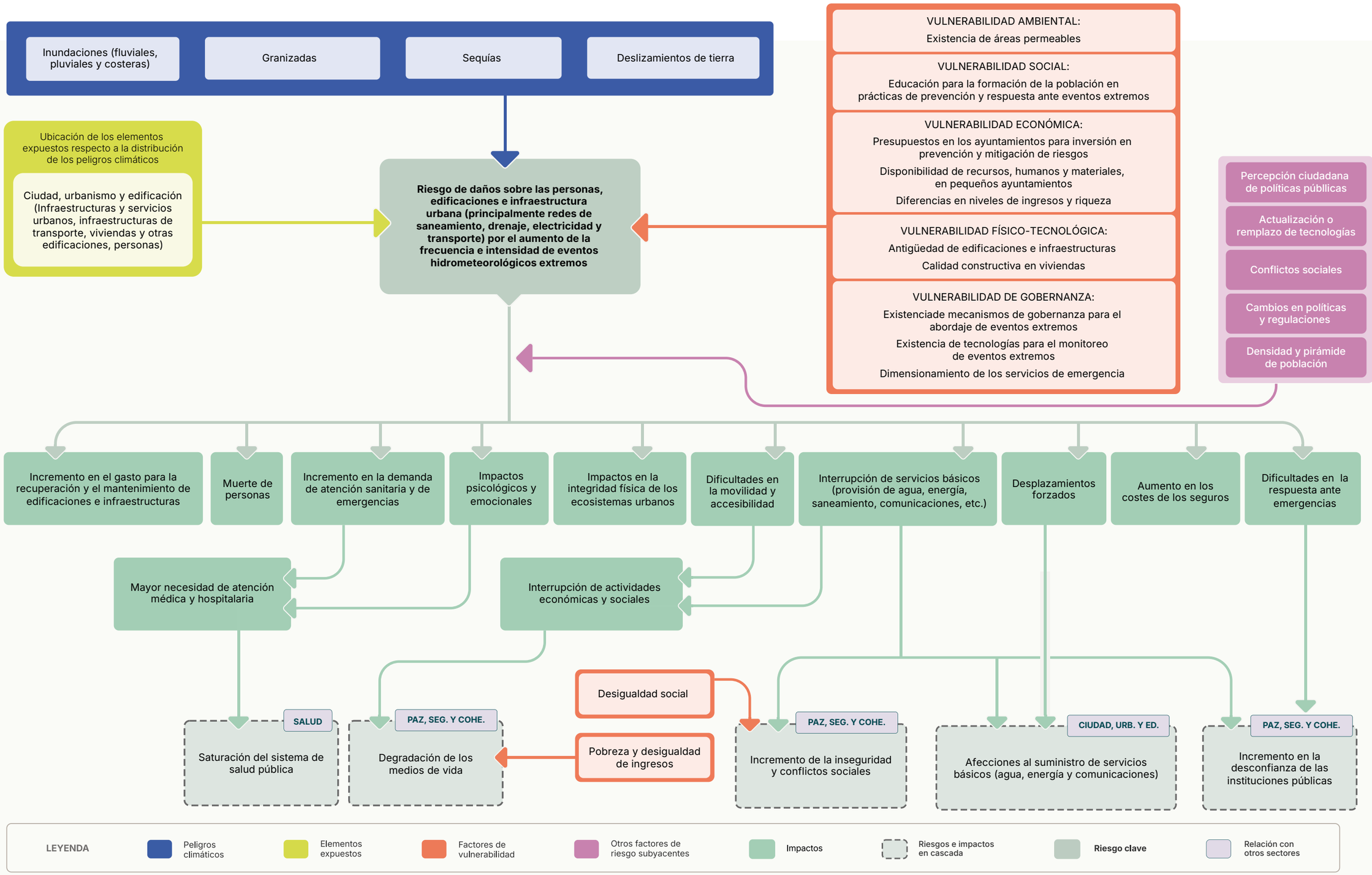


Figura 2. Cadena de impacto del riesgo clave de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos.

El aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos, como lluvias torrenciales, inundaciones, fuertes vientos, olas de calor, entre otros, representa una amenaza creciente para las ciudades y sus habitantes. Estos fenómenos, exacerbados por el cambio climático, pueden afectar con mayor o menor intensidad al entorno urbano, dependiendo de factores que influyen en su vulnerabilidad, como los incluidos en la figura 2. Entre ellos se encuentran la planificación urbana, la calidad de las viviendas, la cobertura de servicios de emergencia, las condiciones socioeconómicas, la antigüedad del parque edificado, la disponibilidad de áreas permeables y la eficacia de los mecanismos de gobernanza. Según cómo se gestionen estos aspectos, pueden contribuir a reducir o, por el contrario, agravar el riesgo. Las redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte, así como las edificaciones y las personas que las habitan, quedan expuestas a sufrir impactos significativos si no se adoptan medidas adecuadas. Estos hechos generan múltiples efectos en cascada en las ciudades, que es donde se concentra la mayor parte de la población. Sin embargo, como el presente riesgo clave abarca múltiples elementos expuestos (infraestructuras de servicios, de transporte, edificios, personas) y múltiples peligros climáticos, en esta descripción del riesgo clave se hará especial referencia a aquellos peligros climáticos más importantes en términos de frecuencia, intensidad de impacto o de proyección de pérdidas y daños.

El principal fenómeno hidrometeorológico extremo que impulsa este riesgo son las inundaciones. En España las inundaciones fluviales, pluviales y costeras tienen gran relevancia. Este fenómeno es, después de las olas de calor, el segundo que más muertes provoca. Según datos del Observatorio de Catástrofes de la Fundación AON, en España las inundaciones se han cobrado 235 vidas entre los años 2000 y 2023. A esta cifra se añade el impacto de la dana de 2024, un evento extraordinario que, en cuestión de horas, causó un número de fallecimientos prácticamente equivalente, y que está considerado ya como el peor evento catastrófico de los últimos 50 años (Levante, 2024). Según información del MITECO (n.d.), entre las comunidades con mayor longitud de subtramos de ARPSI[5] —con potencial significativo de inundaciones de las categorías fluvial, pluvial, marina, de aguas subterráneas o combinaciones de algunas de estas— se encuentran Cataluña, Galicia, Comunidad Valenciana, Andalucía, Castilla y León, o Castilla-La Mancha. También desde el Consorcio de Compensación de Seguros indican que los episodios catastróficos por inundaciones se extienden prácticamente por todo el territorio nacional, con mayor o menor frecuencia e intensidad según las zonas (CCS, 2017). Según datos

[5] Las ARPSI, o Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación, son aquellas zonas de los Estados miembro de la UE donde se ha identificado que existe un riesgo potencial de inundación significativo o bien en las cuales la materialización de tal riesgo puede considerarse probable. Se definen a través de evaluaciones preliminares del riesgo de inundación (EPRI) y se basan en la información disponible, incluyendo estudios de largo plazo y el impacto del cambio climático, y las circunstancias actuales de ocupación del suelo, la existencia de infraestructuras y las actividades para protección frente a inundaciones.

del MITECO (EFE, 2024), 2,73 millones de residentes en España habitan zonas con probabilidad de inundarse una vez cada 500 años, de las que cerca de medio millón vive en áreas que se inundan de media una vez cada diez años. Estos datos únicamente se refieren a las cuencas intercomunitarias, que son competencia del MITECO. Si se añaden otras cuencas internas, la cifra podría alcanzar los 5 millones de personas, lo que representa aproximadamente el 10 % de la población española (ICOG, 2021).

Los eventos extremos pueden generar una gran cantidad de impactos en cascada. Las inundaciones, específicamente, son responsables de la pérdida de medios de vida de la población. En nuestro ejemplo más reciente, tras la dana del año 2024, más de 4.000 empresas de Valencia solicitaron el cese de actividad a la Seguridad Social. Por otro lado, 29.848 trabajadores se encontraban, a finales de 2024, acogidos a un Expediente de Regulación de Empleo (ERTE) por fuerza mayor debido a la dana, con un total de 2.781 empresas solicitantes (Economía Digital Comunidad Valenciana, 2024). Frente a estos eventos extremos, factores como la pobreza, la desigualdad de ingresos, la limitada disponibilidad de servicios de emergencia y tecnologías de monitoreo colocan a muchas comunidades y grupos sociales en una posición de mayor vulnerabilidad. Por otro lado, la insuficiencia presupuestaria en los ayuntamientos o la baja disponibilidad de recursos humanos, pueden dificultar que ciertos municipios proporcionen el soporte necesario, tanto en labores preventivas como en la respuesta frente al desastre. La degradación de los medios de vida, especialmente en contextos socioeconómicos frágiles, puede contribuir al deterioro de la cohesión social y al surgimiento de tensiones comunitarias. De hecho, diversas fuentes documentan cómo el cambio climático agrava estas problemáticas (IEEE, 2021).

Paralelamente, los eventos extremos generan incremento en los costos de los seguros, debido fundamentalmente al aumento en los montos de las indemnizaciones (PymeSeguros, 2025); (Climática, 2025). Las indemnizaciones por daños materiales causados por las inundaciones, sin incluir explotaciones agropecuarias, ascendieron a 5.826 millones de euros entre 1971 y 2016, en valores actualizados a euros de 2016. Cabe destacar que, solo en bienes asegurados, en el periodo 1987-2016, según las estadísticas del Consorcio de Compensación de Seguros, el 48,7 % de los expedientes tramitados se deben a daños por inundaciones, que representaban el 72 % del total de las indemnizaciones, lo que significa un promedio de más de 160 millones de euros cada año (CCS, 2017). Datos más recientes del CCS para el periodo 1996-2022 elevan esta cifra a 198 millones de euros anuales (CCS, 2023). A fecha de julio de 2025, el coste estimado por el CCS únicamente en concepto de indemnizaciones derivadas de la dana de 2024 asciende a unos 4.800 millones de euros (SegurosNews, 2025), lo que representa un 48 % de las reservas disponibles (10.000 millones de euros) para hacer frente a riesgos catastróficos (Expansión, 2024).

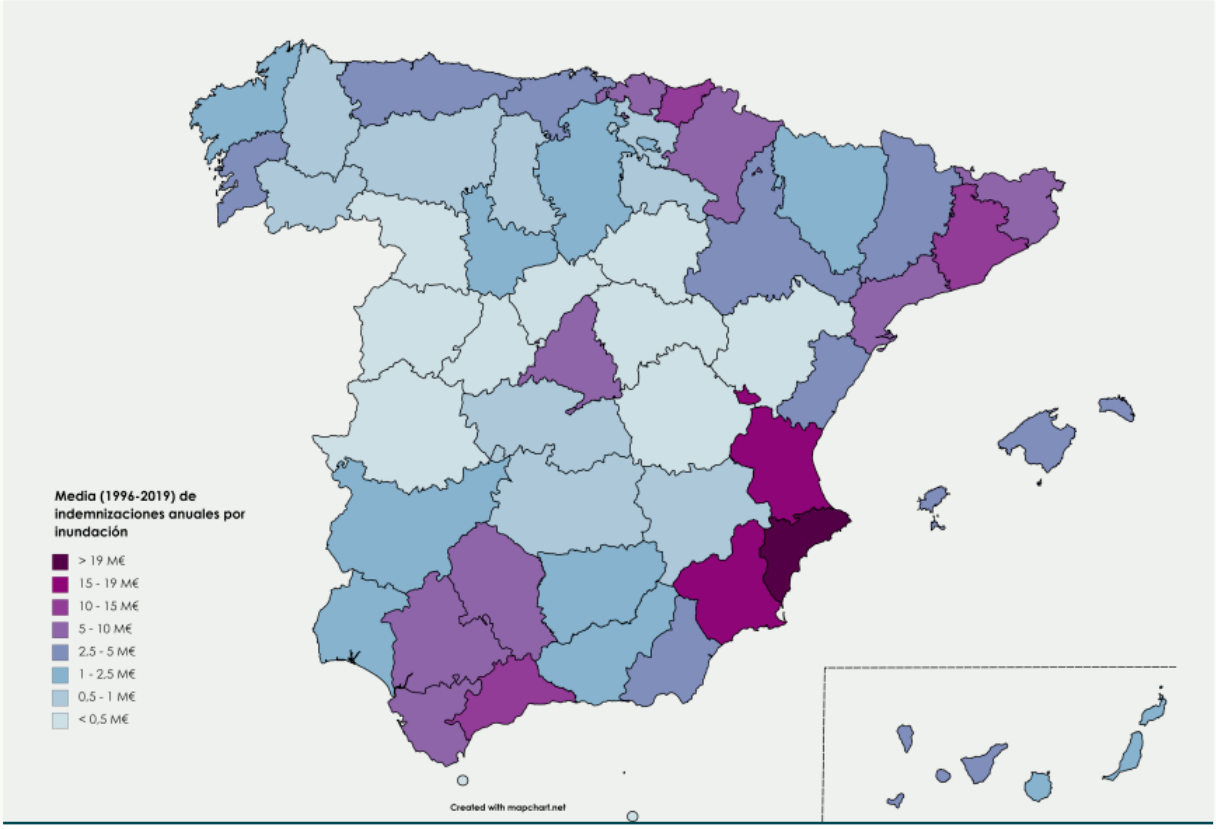


Figura 3. Distribución por provincias de la media de las indemnizaciones anuales por inundación fluvial y pluvial en el periodo 1996-2019 (CCS, 2020).

Los eventos extremos, en particular las inundaciones urbanas, generan múltiples impactos que afectan tanto a la población como a las infraestructuras, sistema productivo e instituciones. En ocasiones, se generan desacuerdos sociales y políticos respecto a las estrategias más adecuadas para afrontar y prevenir estos impactos (Heras, 2023).

Además, estos fenómenos pueden provocar desplazamientos forzados. Por ejemplo, tras la dana de 2024 se produjeron casi 4.000 desplazamientos en Valencia (cifra que puede estar subestimada, ya que solo contabiliza los registrados oficialmente en refugios). Las inundaciones en Málaga, ocurridas semanas después de las de Valencia, obligaron a evacuar a 4.200 personas como medida preventiva. Al cierre del año, cerca de 3.700 personas seguían desplazadas en España, todas ellas como consecuencia de las inundaciones en Valencia, evidenciando el impacto prolongado de estos eventos extremos (IDMC, 2025).

Por otro lado, los eventos extremos también afectan a los espacios verdes y las áreas naturales urbanas y periurbanas, reduciendo su capacidad de proporcionar resiliencia ante futuros epi-

sodios climáticos adversos, como olas de calor o inundaciones recurrentes. En este contexto, la limitada disponibilidad de recursos humanos y financieros en municipios de pequeña y mediana escala puede retrasar la recuperación de estas infraestructuras verdes, dificultando aún más la adaptación al cambio climático.

Con relación al transporte, los efectos del cambio climático pueden ser muy críticos. De acuerdo con estudios elaborados a nivel europeo, los daños directos anuales provocados por las grandes inundaciones fluviales a la infraestructura viaria en Europa ascienden en la actualidad a unos 230 millones de euros al año (Van Ginkel *et al.*, 2021). Además, otros eventos extremos como las olas de calor podrían producir el 92 % de los daños en infraestructuras viarias para la década de 2080, provocando pandeo de vías de ferrocarril, derretimiento de asfalto, etc. (Climate-KIC, 2018).

Aunque la red de carreteras y en general las redes de transporte terrestre se distribuyen por todo el territorio, su resiliencia es clave para garantizar la funcionalidad y seguridad del entorno urbano, especialmente en situaciones de emergencia y eventos extremos que afectan tanto a la movilidad como al acceso a servicios esenciales. Según el estudio elaborado por CEDEX (2018), más del 20 % de la red de carreteras presenta un riesgo actual en sus infraestructuras por erosión en taludes, deslizamiento de laderas y caída de materiales como consecuencia de lluvias intensas. En torno al 4 % de las carreteras han sufrido ya daños en los firmes (surcos, aparición de roderas, deformaciones, fisuras, baches, exudación, ablandamiento) como consecuencia de temperaturas elevadas. Más del 7 % de los puentes de la red de carreteras se han visto afectados (erosión de estribos, socavación de pilas y obras de contención) debido a avenidas extraordinarias.

Las interrupciones en el transporte debido a factores climáticos pueden impactar en el entorno urbano, incluyendo la actividad económica, social y cultural. Estas interrupciones afectan la movilidad de trabajadores y estudiantes, dificultando el desarrollo cotidiano de la ciudad. Además, cuando las interrupciones se prolongan, pueden comprometer el abastecimiento de materias primas en ciertas industrias, afectando su producción y desarrollo. Asimismo, la suspensión de un medio de transporte puede generar una sobrecarga en otras vías de comunicación, aumentando el riesgo de colapsos en la infraestructura de movilidad urbana.

Ficha 1. Análisis del riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales (sin incluir inundaciones pluviales locales ni inundaciones repentinas), considerando las con diciones socioeconómicas actuales, y sin adoptar medidas de adaptación, representarían un 0,04 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). Esta cifra, sin considerar la excepcionalidad de la dana de 2024, es superior al valor promedio anual de los daños manejados por el CCS (casi 200 millones de euros, equivalentes al 0,01 % del PIB). En los últimos años se ha registrado un aumento de las lluvias torrenciales, sobre todo en la franja costera entre el sur de Valencia y el norte de Alicante, donde los episodios extremos, muchos vinculados a danas, son más frecuentes y de mayor magnitud.	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales (sin incluir inundaciones pluviales locales ni inundaciones repentinas), considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 1,5 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). El estudio de CEDEX (2021) prevé un incremento de la torrencialidad para el periodo 2011-2040, lo que incrementaría, a su vez, las inundaciones fluviales y pluviales. El informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España (MITECO, 2024a) expone que los sistemas aislados de precipitaciones que provocan fenómenos extremos serán mayores y más intensos a medida que aumente la temperatura. Para la	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales (sin incluir inundaciones pluviales locales ni inundaciones repentinas), considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 2 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). El porcentaje podría disminuir al 0,04 % considerando las condiciones socioeconómicas del año 2050. Según PIMA ADAPTA COSTA, para el año 2050 se prevé una subida del nivel del mar de 26 cm, por lo que se produciría un incremento en la exposición de edificaciones e infraestructuras costeras. Con el aumento de la temperatura, se prevé que los sistemas aislados de precipitaciones extremas serán más	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales (sin incluir inundaciones pluviales locales ni inundaciones repentinas), considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 3 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). El porcentaje podría disminuir al 0,03 % considerando las condiciones socioeconómicas del año 2100. Con el aumento de la temperatura, se prevé que los sistemas aislados de precipitaciones extremas serán más grandes, intensos y frecuentes en la Península Ibérica, mientras que los sistemas de tamaño intermedio disminuirán en número.Esto significa que la lluvia concentrada en eventos extensos y fuertes aumentará,

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	Además, la estacionalidad de estos eventos está cambiando, con más casos en noviembre y menos en octubre, en probable relación con el calentamiento acelerado del Mediterráneo. Este fenómeno favorece condiciones atmosféricas que potencian episodios convectivos intensos, causantes de inundaciones repentinas (MITECO, 2024a). Según datos de MITECO (EFE, 2024), en las cuencas intercomunitarias de España viven 2,73 millones de personas en zonas con riesgo de inundación con probabilidad de inundarse cada 500 años, y cerca de medio millón en áreas que se inundan en promedio cada diez años. Si se incluyen otras cuencas internas, la cifra podría llegar hasta 5 millones (ICOG, 2021).	la Península Ibérica, se espera que los sistemas de precipitaciones más grandes aumenten en número, intensidad y tamaño, mientras que los sistemas de tamaño intermedio disminuirían en número.	grandes, intensos y frecuentes en la Península Ibérica, mientras que los sistemas de tamaño intermedio disminuirán en número. Esto significa que la lluvia concentrada en eventos extensos y fuertes aumentará, cambiando la dinámica habitual de las precipitaciones (MITECO, 2024a).	cambiando la dinámica habitual de las precipitaciones (MITECO, 2024a).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Media ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Alta · Alto	· Media · Alto	· Media · Alto
	Autores de publicaciones académicas revisadas por pares (Gil-Guirado *et al.*, 2022); (Llasat *et al.*, 2021); (Mediero *et al.*, 2014) señalan factores de vulnerabilidad al aumento de las inundaciones (en número y extensión) por tormentas de tipo convectivo en cuencas pequeñas y caudales elevados en cuencas medianas y grandes. Publicaciones oficiales (WWA, 2024) destacan un aumento de los extremos de precipitaciones diarias en los últimos 75 años. Clivar (MITECO, 2024a) señala que en los últimos años se ha registrado un aumento de las lluvias torrenciales, donde los episodios extremos, muchos vinculados a danas, son más frecuentes y de mayor magnitud.	Autores de publicaciones académicas revisadas por pares (Amblar Francés *et al.*, 2017); (Valdes-Abellan *et al.*, 2017) indican un aumento de las temperaturas, especialmente en las zonas interiores y del este, lo que augura un aumento de precipitaciones extremas. Los resultados del proyecto EURO-CORDEX para España (Carvalho *et al.*, 2022) muestran un aumento de las precipitaciones máximas para 2021-2040. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2020.	Carvalho et al (2022) prevén un aumento de las precipitaciones máximas para el período 2042-2070, especialmente en las cuencas del suroeste (Tinto-Odiel), Galicia Costa, Cuencas Internas de Cataluña y Júcar. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2050. Existe una elevada incertidumbre en las proyecciones climáticas sobre la precipitación máxima para todo el territorio (MITECO, 2024a).	En el periodo 2081-2100, Carvalho *et al.* (2022) prevén un incremento importante en el porcentaje de cambio de precipitación extrema para las cuencas del Duero, Guadalquivir y Tajo. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2080. El de aumento de eventos extremos en las grandes cuencas atlánticas ibéricas concuerda con los estudios publicados por Alfieri *et al.* (2018). Existe una elevada incertidumbre en las proyecciones climáticas sobre la precipitación máxima para todo el territorio (MITECO, 2024a).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Precipitaciones intensas e inundaciones pluviales. • Fuertes nevadas. • Inundaciones fluviales. • Deslizamientos de tierra. • Aumento del nivel del mar relativo. • Inundaciones costeras. • Granizadas. • Sequías. • Aludes de nieve. • Olas de calor. • Episodios de calor extremo.	• Infraestructuras y servicios urbanos. • Infraestructuras de transporte. • Viviendas y otras edificaciones. • Personas.	• Presupuestos en los ayuntamientos para inversión en prevención y mitigación de riesgos. • Existencia de áreas permeables. • Dimensionamiento de los servicios de emergencia. • Antigüedad de edificaciones e infraestructuras. • Pobreza y desigualdad de ingresos y riqueza. • Disponibilidad de recursos, humanos y materiales, en pequeños ayuntamientos. • Calidad constructiva de las viviendas. • Educación comunitaria para la formación de la población en prácticas de prevención y respuesta ante eventos extremos. • Mecanismos de gobernanza para el abordaje de eventos extremos en ciudades. • Existencia de tecnologías para el monitoreo de eventos extremos en ciudades.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los daños sobre edificaciones e infraestructura urbana, en general, pueden afectar al turismo internacional de manera directa y reducir la competitividad con otras ciudades. La reducción del turismo puede ser significativa si hay daños importantes sobre las infraestructuras turísticas específicamente y la recuperación se alarga en el tiempo, al reducir la capacidad de recepción de turistas y el desarrollo de actividades. En España no se han realizado estudios de impacto debidos a eventos extremos con excepción de los correspondientes a la zona litoral, gracias principalmente a los PIMA ADAPTA COSTA (por ejemplo, Gobierno de Canarias, 2021). El riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media en temporada alta por eventos extremos se identifica regularmente en la literatura, pero no hay estudios de impactos en España recientes. Aunque aún no existen evidencias de un descenso del turismo internacional asociado a este riesgo climático, podría producirse una redistribución estacional de los flujos de visitantes para evitar las épocas de concentración del peligro climático.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Territoriales	Las edificaciones y redes de infraestructura urbana que podrían verse afectadas, especialmente por inundaciones, se encuentran distribuidas por todas las comunidades autónomas del país. España tiene 10.952 kilómetros de zonas inundables (MITECO, n.d.); (MITECO, n.d.)[6]. Entre las comunidades autónomas que pueden verse más afectadas, ya que presentan una mayor longitud de subtramos inundables, se encuentran Cataluña, Galicia, Comunidad Valenciana, Andalucía, Castilla y León, o Castilla-La Mancha (MITECO, n.d.).
Sociales	Este riesgo puede tener mayores impactos en aquellas comunidades autónomas con mayor superficie de zonas urbanizadas en áreas inundables, con mayor población o con mayor concentración de personas con escasos recursos económicos (EEA, 2024). Además, el potencial impacto es extremo sobre grupos de población en situación de especial vulnerabilidad social. Entre ellos: • Personas migrantes: la barrera idiomática y el desconocimiento del entorno podrían dificultar o incluso impedir la comprensión de avisos e instrucciones de actuación o evacuación, a lo que hay que añadir la dificultad de acceso a ayudas posdesastre para aquellas personas que se encuentren en situación irregular. • Personas con discapacidad: podrían presentar dificultad de desplazamiento en casos de evacuación y transporte (ya sea por barreras en el entorno o por necesidad de asistencia); o bien para acceder a los avisos, alertas meteorológicas o comprender su significado (personas ciegas, sordas o con capacidades cognitivas afectadas) (Kosanic *et al.*, 2022). • Personas mayores: las limitaciones físicas podrían dificultar la evacuación rápida o el acceso a lugares seguros o servicios de salud. • Personas en situación de vulnerabilidad económica: las comunidades con menos recursos suelen habitar en zonas más expuestas a fenómenos extremos como inundaciones. Estas áreas tienden a contar con infraestructuras de protección deficientes, lo que las hace más propensas a sufrir daños. Además, enfrentan mayores dificultades para prepararse, responder y adaptarse a estos eventos, en parte debido a su acceso limitado a tecnología y otros recursos esenciales (Fazio, 2018). • Infancia: muchos niños y niñas no tienen la fuerza suficiente para mantenerse en pie cuando las corrientes son rápidas, incluso en aguas poco profundas. Aun sabiendo nadar, las corrientes fuertes y los materiales transportados por el agua los ponen en riesgo de sufrir lesiones y de ahogarse (UNICEF, 2021). • Personas expatriadas y turistas con un conocimiento nulo o limitado del idioma o de la cultura local.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[6] Las Áreas de Riesgo Potencial de Inundación (ARPSI) se corresponden con tramos de cauces y costas de las zonas que han recibido dicha calificación dentro del proceso de revisión y actualización de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (EPRI). Los elementos que componen las ARPSI son polilíneas (medidas en kilómetros lineales) que representan cauces o zonas costeras con riesgo de desbordamiento y cada ARPSI puede estar formada, a su vez, por distintos subtramos.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin incorporar criterios de adaptación al cambio climático en el diseño, así como la aplicación sistemática de soluciones rígidas que no permiten ajustes ante las condiciones cambiantes, puede dar lugar a daños recurrentes y mayores costes operativos a largo plazo. Determinadas soluciones para la protección de infraestructuras podrían desplazar el riesgo de inundación a otras zonas.
Género	La discriminación de género limita el control de las mujeres y niñas sobre las decisiones que afectan a sus vidas, además de restringir su acceso a recursos y oportunidades. Esta situación incrementa su vulnerabilidad, resultando en tasas más altas de mortalidad, morbilidad y pérdida de medios de subsistencia durante los desastres (UNDRR, 2022b).

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Por cada 1 °C de calentamiento, el aire saturado contiene un 7 % más de vapor de agua en promedio, lo que a su vez aumenta el riesgo de eventos de precipitaciones extremas (Barriendos *et al.*, 2019). Según la World Weather Attribution, durante los últimos 75 años, los extremos de precipitaciones diarias en la temporada de septiembre a diciembre en el centro y sureste de España han aumentado significativamente con el calentamiento global, duplicando aproximadamente su probabilidad y aumentando equivalentemente su intensidad en un 12 %. En zonas montañosas el ritmo de fusión de la nieve se ha acelerado, por lo que se ha adelantado en al menos un mes el aporte de caudales a los cursos fluviales respecto a la situación habitual. Los umbrales críticos en este riesgo se pueden establecer a partir de: 1) La torrencialidad de las precipitaciones: La Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior clasifica las lluvias según su intensidad: fuertes (entre 15 y 30 mm/hora); muy fuertes (entre 30 y 60 mm/hora); y torrenciales (superiores a 60 mm/hora). En el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos se considera que la lluvia puede suponer un riesgo meteorológico a partir del nivel de lluvias fuertes y bajo esta idea se establecen los umbrales de precipitación acumulada en 1 hora y en 12 horas para las diferentes zonas meteorológicas del país (Ministerio de Interior, n.d.); 2) La magnitud de la inundación: La magnitud de la inundación dependerá de la extensión de la zona inundada, de la altura y velocidad que alcance el agua, del tiempo de llegada de la inundación y su tiempo de permanencia, de la cantidad de sólidos transportados, etc. Con más de 1 m el agua puede causar daños estructurales en los edificios. Por eso, en las normativas se suele utilizar el umbral de 1 m de altura de agua como una de las hipótesis de cálculo de graves daños por inundaciones (Bravo, 2017); (CCS, 2017).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	Grandes inversiones en infraestructuras que no fueron diseñadas para escenarios climáticos cambiantes pueden limitar la capacidad de adaptación. Por ejemplo, sistemas de drenaje urbano que no soportan lluvias extremas. Además, marcos normativos y políticos obsoletos, así como legislaciones y regulaciones que no incorporan nuevas estrategias de adaptación, pueden bloquear los cambios necesarios. Por otro lado, la expansión urbana en áreas propensas a inundaciones podría aumentar significativamente el número de personas en riesgo ante estos eventos. La construcción de infraestructuras en zonas vulnerables no solo incrementa la exposición de la población, sino que también puede agravar los efectos de las inundaciones al alterar los patrones naturales de drenaje y reducir la capacidad de absorción del suelo.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Se están acometiendo tanto medidas no estructurales (planes de gestión del riesgo de inundación (MITECO, n.d.), ordenación de los usos en el territorio en función del grado de inundabilidad, planes de ordenación municipal, planes especiales de protección civil, implementación de sistemas de alerta temprana, etc.) como estructurales (obras de defensa de los núcleos urbanos, materiales de construcción resistentes al agua). Además, se destaca la siguiente normativa y documentación, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias líneas de acción que se vinculan con la gestión del presente riesgo: "Vinculación y refuerzo entre la agenda urbana española y el plan nacional de adaptación al cambio climático, como marcos de gobernanza"; "Integración de la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y urbana"; e "Integración de la adaptación al cambio climático en el sector de la edificación". • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética** de España modifica el artículo 20.1 del texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, para que se contemple en la planificación urbanística local la prevención de riesgos derivados de eventos meteorológicos extremos sobre las infraestructuras y los servicios públicos esenciales (BOE, 2021). • Un número creciente de municipios españoles cuentan con algún tipo de planificación climática: **Planes de acción climática**, Planes de Acción para el Clima y la Energía (SEO, 2024).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración General del Estado: marco legal y coordinación de acciones a nivel nacional. • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Consorcio de Compensación de Seguros. • Confederaciones hidrográficas. • Comunidades autónomas: coordinación de emergencias, planificación territorial y sectorial. • Diputaciones: planes de emergencias y protección civil. • Ayuntamientos: planes locales de acción climática, planes de clima y energía (PACES), planes de emergencia municipales, PGOU, etc. • FEMP. • Empresas de saneamiento, drenaje, electricidad, transporte y comunicaciones. • Cuerpos de bomberos.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Mejora en la resiliencia frente a los eventos extremos. • Reducción de costes de operación y mantenimiento. • Reducción de los riesgos en cascada identificados.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Las necesidades económicas producidas por los daños derivados de los eventos extremos pueden reducir la capacidad de acción en términos económicos, retrasando la implementación de tecnologías más sostenibles y ralentizado así el proceso hacia la descarbonización. • La incorporación de infraestructura verde para mejorar la permeabilidad, y por tanto la resiliencia frente a inundaciones, puede incrementar los sumideros de carbono urbanos.
Déficits de información	• Mapas de peligrosidad y riesgo de otros peligros (por ejemplo, deslizamientos de tierra). • Información de riesgo no adaptada suficientemente a las unidades geográficas provinciales, comarcales, municipales. • Mensajes de alerta no entendibles o adaptados a los perfiles de los receptores. • Insuficiente capacitación de la ciudadanía para responder adecuadamente a las situaciones de riesgo o emergencia.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere un seguimiento periódico. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.2. RC7.2: Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas)

Una de las razones por las que se ha calificado como clave este riesgo es el elevado alcance que posee en términos de extensión y población afectadas, y a la alta probabilidad existente de que se materialice a corto plazo. Adicionalmente, al igual que el riesgo anterior, incide en mayor medida sobre ciertos colectivos (personas mayores, infancia, personas discapacitadas, personas migrantes, etc.). El riesgo tiene potencial de producir impactos y riesgos en cascada (**Figura 4**) y, además, existen varios umbrales a partir de los cuales el riesgo aumenta desproporcionadamente.

La **Figura 4** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligros climáticos, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y está modulado por los peligros climáticos, los distintos factores de vulnerabilidad, la exposición y por otros factores del riesgo subyacente que lo amplifican. Del riesgo se derivan potenciales impactos y riesgos en cascada, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

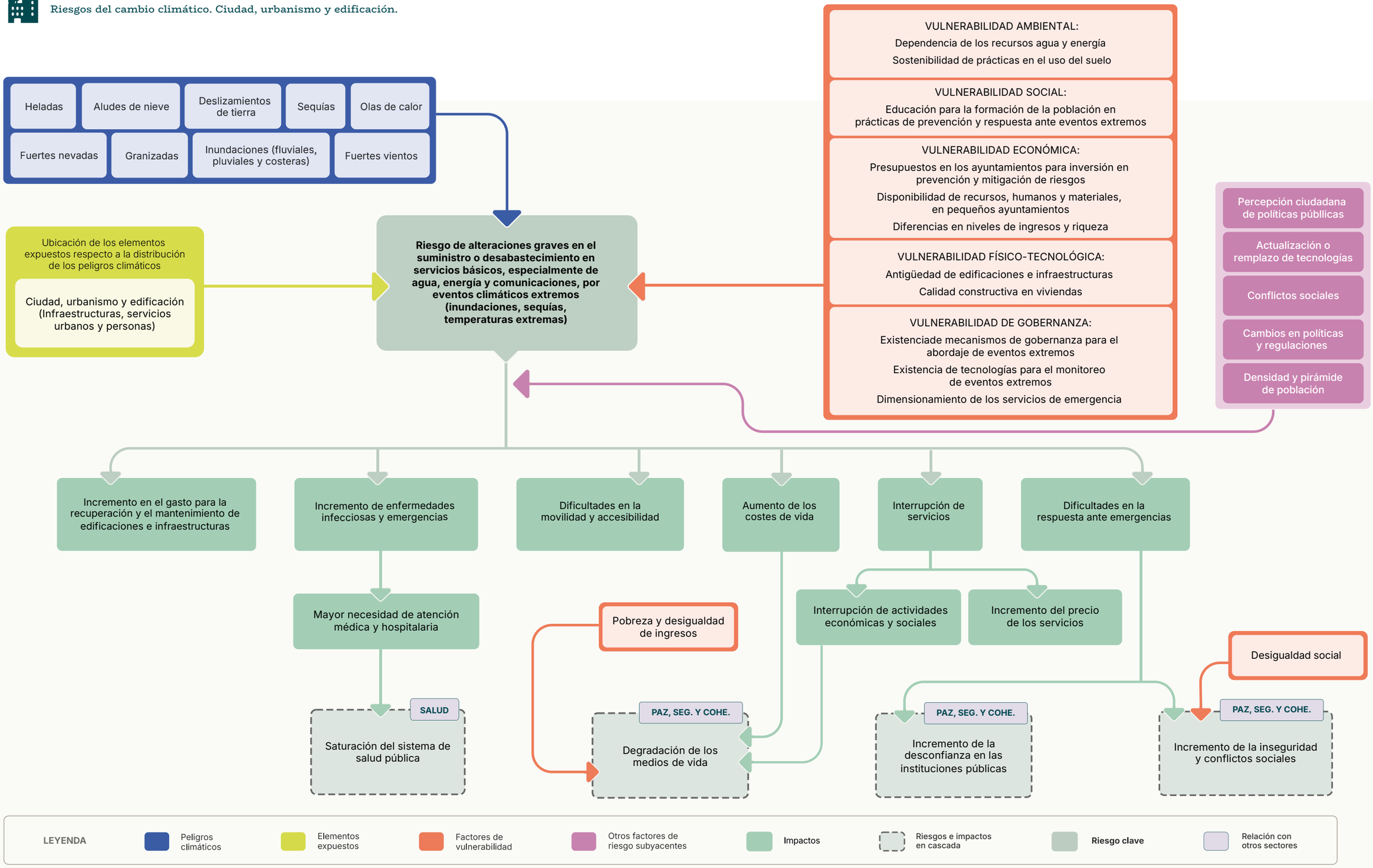


Figura 4. Cadena de impacto del riesgo clave de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).

Los impactos en la población por interrupción de los servicios y sus efectos derivados sobre otros sectores podrían ser mucho mayores que las pérdidas directas debidas a daños en las propias infraestructuras y redes, con consecuencias sociales de gran alcance (EEA, 2024); (EEA, 2019). De hecho, los daños anuales previstos por fenómenos extremos en el caso de la infraestructura energética de la UE podrían multiplicarse casi por siete respecto a la actualidad en un escenario de emisiones medias a altas para el año 2050 (CMCC, 2021). Esto conlleva, indefectiblemente, un incremento en el gasto para la recuperación y el mantenimiento de edificaciones e infraestructuras.

El desabastecimiento o la afección grave a servicios esenciales puede afectar a centenares de miles de personas de manera directa o indirecta, pudiendo conllevar también un incremento en el precio de los servicios ofrecidos, como el precio de la energía (EEA, 2024). El aumento en los costos de la energía podría impactar directamente el costo de vida, no solo a nivel doméstico, sino también al funcionamiento de las instalaciones productivas. Esto no solo afecta a las personas en su consumo diario, sino que compromete además la sostenibilidad de diversos sectores económicos.

Asimismo, el precio del agua puede aumentar debido, entre otras razones, a la necesidad de importarla en situaciones de desabastecimiento, como ha ocurrido en diversas ocasiones (Statista, 2025). También puede incrementarse debido a un mayor uso intensivo de energía en condiciones de sequía, tal y como ocurrió en Barcelona y su área metropolitana, en 2023, donde el precio del agua subió entre un 11,5 % y un 15 % por la necesidad de disponer de mayor volumen de agua regenerada (La Vanguardia, 2023). Este fenómeno podría intensificarse en el futuro, especialmente en contextos de mayor escasez hídrica, lo que podría generar un impacto adicional en el acceso al recurso, especialmente para los sectores más vulnerables (March *et al.*, 2023).

En los últimos años se ha incrementado el efecto del cambio climático en diferentes ámbitos relacionados con la provisión de energía, como la producción y la distribución. En lo que respecta a la producción eléctrica, un estudio del Laboratorio Nacional de Energía y Geología de Portugal (Brás *et al.*, 2023) apunta a que el impacto de los fenómenos meteorológicos extremos ha ido aumentando en el periodo 1990-2019. Así, en el Mediterráneo las sequías y las olas de calor afectan de manera negativa no sólo a la generación hidroeléctrica (reducción del 5,5 %), sino también a la solar fotovoltaica (reducción del 3,7 %) y a la eólica (reducción del 3 %) (Brás *et al.*, 2023). En este sentido, aunque la media de la reserva hídrica en España alcanzó el 77,5 % de su capacidad a fecha de mayo de 2025 (MITECO, 2025), hay una gran variabilidad interanual en la disponibilidad de agua y este valor promedio apenas alcanzaba el 37 % en septiembre de 2023 (MITECO, 2023a), existiendo cuencas especialmente tensionadas, sobre todo en el sur y este del país. Entre estas cuencas destacaban especialmente, por sus bajas reservas, los casos de Guadalete-Barbate (16,8 %), Guadalquivir (19,3 %), Cuencas internas de Cataluña (24,1 %), Guadiana (24,4 %), Cuenca Mediterránea Andaluza (26 %), Segura (26,1 %) y Ebro (36,7 %).

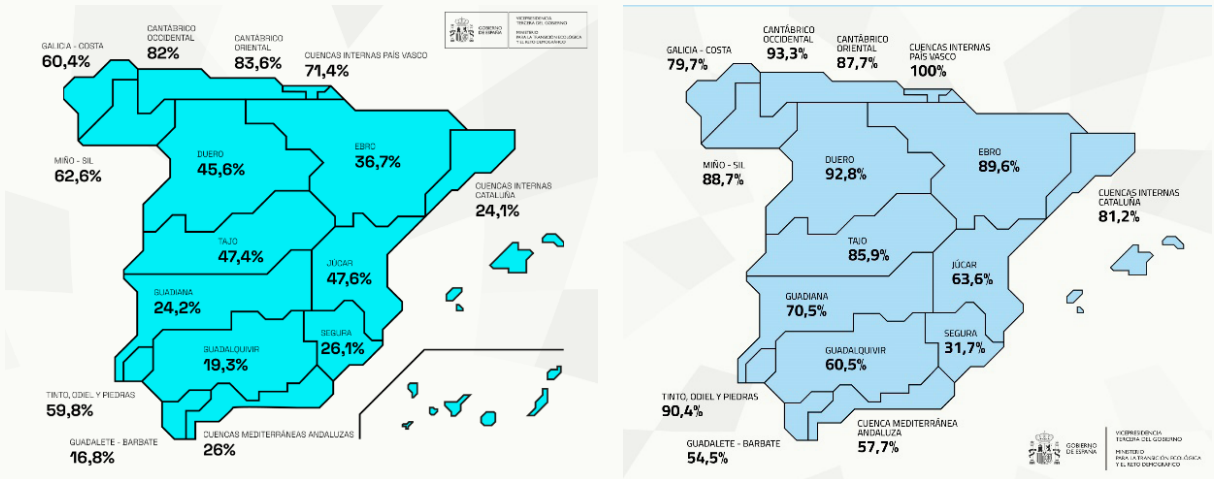


Figura 5. Distribución de las reservas hídricas (%) por cuencas hidrográficas (a la izquierda situación a 5 de septiembre de 2023 y a la derecha situación a 27 de mayo de 2025) (MITECO, 2023a); (MITECO, 2025).

Además del posible aumento de los impactos sobre la producción energética o de provisión de agua por el incremento de las sequías y la disminución de la recarga de acuíferos de hasta un 30 % en el centro y sureste de la península ibérica (Pulido-Velázquez *et al.*, 2018), se podrían agravar los daños en infraestructuras, debido al aumento en la intensidad de eventos extremos. Por ejemplo, de acuerdo con el estudio de CEDEX (CEDEX, 2021), donde se analiza el cambio relativo a través del factor de torrencialidad, se prevé un incremento del riesgo de inundaciones para el período 2011-2040, lo que probablemente aumentaría también la afección a infraestructuras de agua y energía y a los servicios que estas proporcionan. La magnitud de los impactos dependerá de diversas características socioeconómicas e institucionales. Por ejemplo, prácticas insostenibles de uso del suelo, como la deforestación o la eliminación de vegetación en las zonas altas de una cuenca, pueden intensificar la escorrentía durante tormentas fuertes e inundaciones pluviales, aumentando así los daños en las infraestructuras de servicios.

Asimismo, la antigüedad de edificaciones e infraestructuras puede hacer que los eventos extremos generen efectos aún más severos. Por otro lado, la falta de mecanismos de gobernanza adecuados para gestionar estos eventos, junto con la insuficiencia de tecnologías de monitoreo y la precariedad de los servicios de emergencia, dificultan la eficiencia y rapidez de la respuesta, retrasando la recuperación y reparación de los daños. Un ejemplo de ello es lo ocurrido tras la dana de 2024, cuando aproximadamente 155.000 personas se vieron afectadas por la falta de suminis-

tro eléctrico, debida a los daños físicos sufridos por las redes de transporte (Red Eléctrica) y de distribución (Iberdrola fundamentalmente). Algunas de estas personas no recuperaron el servicio hasta días después (Europa Press, 2024a). Estas dificultades en la respuesta ante emergencias pueden contribuir a una disminución de la confianza en las instituciones públicas.

Este riesgo no tiene una distribución equitativa en el territorio español. Aunque las instalaciones y redes de energía y agua potencialmente vulnerables se encuentran distribuidas por todo el país, en el caso del agua el riesgo podría ser más alto en aquellos territorios tensionados, donde ya haya una emergencia o alerta por escasez (fundamentalmente el centro-sur del país). Según el Informe sobre la Gestión de la Sequía (MITECO, 2023b), en el año 2023 el 14,6 % del territorio nacional estaba en situación de emergencia y el 27,4 % en alerta por escasez de agua.

La falta de suministro de agua puede tener múltiples consecuencias que afectan tanto a la población como a las actividades económicas y ambientales. La reducción en la disponibilidad de agua impacta directamente en la producción agrícola, industrial y energética, limitando el desarrollo de sectores esenciales para la economía. Además, el acceso restringido al agua potable compromete el bienestar de la población, exacerbando problemas de salud pública y aumentando la incidencia de enfermedades infecciosas relacionadas con la falta de higiene y el saneamiento. En situaciones de emergencia, como olas de calor, la escasez de agua puede agravar aún más los riesgos y dificultar la capacidad de respuesta.

Por otro lado, el desabastecimiento de energía también puede generar consecuencias críticas, especialmente cuando se debe a daños en las redes de distribución o en instalaciones de autoconsumo. En las zonas más despobladas o en asentamientos irregulares, donde la infraestructura suele ser más precaria y las reparaciones no siempre son prioritarias, las interrupciones en el suministro pueden prolongarse, afectando el acceso a servicios básicos como la iluminación, la refrigeración de alimentos y medicamentos, y la comunicación. Además, la falt a de energía impacta en la operatividad de hospitales, centros educativos y sistemas de transporte, lo que puede agravar las desigualdades y aumentar la vulnerabilidad de ciertos grupos poblacionales.

Ficha 2. Análisis del riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales (sin incluir inundaciones pluviales locales ni inundaciones repentinas), considerando las condiciones socioeconómicas actuales, y sin adoptar medidas de adaptación, representarían un 0,04 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). Esta cifra, sin considerar la excepcionalidad de la dana de 2024, es superior al valor promedio anual de los daños manejados por el CCS (casi 200 millones de euros, equivalentes al 0,01% del PIB). El JRC, a través de PESETA IV (Cammalleri *et al.*, 2020), estima que, globalmente, las pérdidas anuales actuales por sequía en España son de 1.500 millones de euros al año (0,1% del PIB), de las que el 9 % (0,009 % del PIB) correspondería al suministro público de agua en la región mediterránea. No obstante,	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales (sin incluir inundaciones pluviales locales ni inundaciones repentinas), considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 1,5 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). El estudio de CEDEX (CEDEX, 2021) prevé un incremento de la torrencialidad para el periodo 2011-2040, lo que incrementaría, a su vez, las inundaciones fluviales y pluviales. El informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España (MITECO, 2024a) expone que los sistemas aislados de precipitaciones que provocan fenómenos extremos serán mayores y más intensos a medida que aumente la temperatura. Para la Península Ibérica, se espera que	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales (sin incluir inundaciones pluviales locales ni inundaciones repentinas), considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 2 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). El porcentaje disminuiría al 0,04 % considerando las condiciones socioeconómicas del año 2050. El informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España (MITECO, 2024a) expone que los sistemas aislados de precipitaciones que provocan fenómenos extremos serán mayores y más intensos a medida que aumente la temperatura. Para la Península Ibérica, se espera que los sistemas de precipitaciones más grandes aumenten en número, intensidad y tamaño, mientras que	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales (sin incluir inundaciones pluviales locales ni inundaciones repentinas), considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 3 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). El porcentaje disminuiría al 0,03 % considerando las condiciones socioeconómicas del año 2100. El informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España (MITECO, 2024a) expone que los sistemas aislados de precipitaciones que provocan fenómenos extremos serán mayores y más intensos a medida que aumente la temperatura. Para la Península Ibérica, se espera que los sistemas de precipitaciones más grandes aumenten en número,

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	la horquilla de las posibles pérdidas es amplia, entre 700 (0,05 % del PIB) y 3.000 millones de euros (0,2 % del PIB). Las cifras reales en periodos de sequía relevantes, como en el año 2023, pueden ser incluso muy superiores a las estimadas en el estudio a escala europea. Según un estudio de AON (Europa Press, 2024b), se valoraron en 5.500 millones de euros (0,37 % del PIB), de los que 495 millones de euros (0,03 del PIB) podrían relacionarse entonces con el suministro de agua. Según el Informe sobre la Gestión de la Sequía en 2023 (MITECO, 2023b) ese año el 14,6 % del territorio nacional estaba en situación de emergencia y el 27,4 % en alerta por escasez de agua. 8,7 millones de personas se vieron afectadas en España por restricciones de agua durante la sequía de 2023, con al menos 600 municipios, principalmente	los sistemas de precipitaciones más grandes aumenten en número, intensidad y tamaño, mientras que los sistemas de tamaño intermedio disminuirían en número. Desde PESETA IV (Cammalleri et al., 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en condiciones económicas similares a las actuales (año 2015), será de 9.700 millones de euros. Esto representa un incremento medio del 7 %, que en el caso de España equivaldrían a 1.600 millones de euros (0,11 % del PIB). Peseta IV (Naumann et al., 2020) recoge que 105 millones de personas en Europa se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años.	los sistemas de tamaño intermedio disminuirían en número. Según PIMA ADAPTA COSTA, para el año 2050 se prevé un incremento en la una subida del nivel del mar de 26 cm, por lo que se produciría un incremento en la exposición de edificaciones e infraestructuras costeras. Desde PESETA IV (Cammalleri et al., 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en condiciones económicas similares a las actuales (año 2015), será de 12.200 millones de euros. Esto representa un incremento medio de casi el 35 %, que en el caso de España equivaldrían a 2.025 millones de euros (0,14 % del PIB). Sin embargo, en una situación económica futura (año 2050) la cifra en Europa se elevaría a 15.500 millones de euros (incremento del 71 %), correspondiendo aproximadamente a España 2.570 millones de euros (0,17 % del PIB), de los que 231	intensidad y tamaño, mientras que los sistemas de tamaño intermedio disminuirían en número. Desde PESETA IV (Cammalleri et al., 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en condiciones económicas similares a las actuales (año 2015), y con un nivel de calentamiento de 3 °C, será de 17.300 millones de euros. Esto representa un incremento medio del 90,7 %, que en el caso de España equivaldrían a 2.860 millones de euros (0,19 % del PIB). Sin embargo, en una situación económica futura (año 2100) la cifra en Europa se dispararía a 45 mil millones de euros (incremento del 402 %), correspondiendo aproximadamente a España 7.530 millones de euros (0,5 % del PIB), de los que 904 millones de euros (0,06 % del PIB) se relacionarían con el suministro público de agua (el porcentaje aumentaría en este periodo del 9 % al 12 % de total de agua).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	de Cataluña y Andalucía, con un consumo limitado e incluso cortes de suministro de agua[7]. Tras la dana de 2024, 155.000 personas se vieron afectadas por la falta de suministro eléctrico debida a los daños físicos provocados en las redes de transporte y de distribución, y algunas de ellas no vieron repuesto este servicio hasta días después[8]. Respecto a temperaturas extremas, Peseta IV (Naumann et al., 2020) recoge que, en el periodo de referencia 1981-2010, 9,6 millones de europeos están expuestos anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años, afectando principalmente al sur de Europa (Francia, Italia y España).		millones de euros (0,02 % del PIB) se relacionarían con el suministro público de agua. Peseta IV (Naumann et al., 2020) recoge que 172 millones de personas en Europa se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años.	Peseta IV (Naumann et al., 2020) recoge que 298 millones de personas en Europa se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[7] Identificado en diferentes medios y piezas de prensa (p. ej., El País, 2023a).

[8] Identificado en diferentes medios y piezas de prensa (p. ej., Europa Press, 2024).

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Alto	· Media · Alto	· Media · Alto	· Media · Medio
	Las diversas fuentes citadas indican impactos económicos relevantes, sobre todo sobre la disponibilidad de agua, por afecciones debidas, fundamentalmente, a inundaciones y sequías.	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a una posible menor disponibilidad de agua.	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a una posible menor disponibilidad de agua.	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a una posible menor disponibilidad de agua, si bien la incertidumbre en este periodo es mayor dada la horquilla de posibles niveles de calentamiento.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Heladas. • Precipitaciones intensas e inundaciones pluviales. • Fuertes nevadas. • Inundaciones fluviales. • Deslizamientos de tierra. • Aumento del nivel del mar relativo. • Inundaciones costeras. • Fuertes vientos. • Granizadas. • Sequías. • Aludes de nieve. • Olas de calor. • Episodios de calor extremo.	• Infraestructuras. • Servicios urbanos. • Personas.	• Presupuestos en los ayuntamientos para inversión en prevención y mitigación de riesgos. • Sostenibilidad de prácticas en el uso del suelo. • Dimensionamiento de los servicios de emergencia. • Antigüedad de edificaciones e infraestructuras. • Pobreza y desigualdad de ingresos y riqueza. • Disponibilidad de recursos, humanos y materiales, en pequeños ayuntamientos. • Dependencia del recurso agua. • Educación comunitaria para la formación de la población en prácticas de prevención y respuesta ante eventos extremos. • Mecanismos de gobernanza para el abordaje de eventos extremos en ciudades. • Existencia de tecnologías para el monitoreo de eventos extremos en ciudades.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los daños sobre servicios básicos como agua, energía y comunicaciones pueden afectar al turismo internacional de manera directa y reducir la competitividad con otras ciudades. Aunque desde 1961 hasta 2024 la temperatura media anual en España ha aumentado 1.69 º C (AEMET, 2025a), este hecho no ha supuesto, de momento, una reducción en el número de visitantes o de la estancia media, y España continúa siendo uno de los principales destinos de turismo internacional. No obstante, a corto plazo (2021-2040), periodo en el que se estima un nivel de calentamiento de aproximadamente de 1 º C, podría aumentar el número de turistas internacionales que se queden en sus países de origen o escojan otros destinos, o que turistas domésticos opten más por destinos en el extranjero. Se estima que esto podría conllevar una reducción de 0,21 % en las pernoctaciones (García-León *et al.*, 2025), con unas potenciales pérdidas asociadas de alrededor de 99 millones de euros.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Territoriales	Las edificaciones y redes de infraestructura urbana que podrían verse afectadas, especialmente por inundaciones, se encuentran distribuidas por todas las comunidades autónomas del país. España tiene 10.952 kilómetros de zonas inundables (MITECO, n.d.) (MITECO, n.d.)Entre las comunidades autónomas que pueden verse más afectadas, ya que presentan una mayor longitud de subtramos inundables, se encuentran Cataluña, Galicia, Comunidad Valenciana, Andalucía, Castilla y León, o Castilla-La Mancha (MITECO, n.d.). En lo que concierne a desabastecimiento de agua, el riesgo podría ser más alto en aquellos territorios donde ya haya una emergencia o alerta por escasez de precipitaciones. En el año 2023 el 14,6 % del territorio nacional estaba en situación de emergencia y el 27,4 % en alerta por escasez de agua (MITECO, 2023b). Sin embargo, son los territorios del sur de España los que podrían sufrir consecuencias más adversas en relación con las sequías y las temperaturas extremas. De hecho, en un escenario de incremento de 2 º C, hacia el año 2050, las comunidades del sur de España estarán más expuestas y sufrirán consecuencias más graves frente a las temperaturas extremas (D'Apice *et al.*, 2024).
Sociales	Este riesgo puede tener mayores impactos en aquellas comunidades con mayor extensión de zonas urbanizadas en áreas inundables, con mayor población o con mayor concentración de personas con escasos recursos económicos (EEA, 2024). En el caso de la energía, el desabastecimiento puede tener consecuencias específicas cuando se produce por daños a redes o a instalaciones de autoconsumo, así como cuando afecta a las zonas más despobladas o a asentamientos irregulares, donde la prioridad es menor a la hora de reparar los daños. Por otro lado, personas con discapacidad o en situación de dependencia podrían tener necesidad de suministro eléctrico constante, siendo más vulnerables a este riesgo.
Maladaptación	• La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático, así como apostar por medidas rígidas que no pueden ajustarse a las condiciones cambiantes, pueden dar lugar a daños recurrentes y mayores costes de operación. • Determinadas soluciones para la protección de infraestructuras podrían desplazar el riesgo de inundación a otras zonas.
Género	La discriminación de género limita el control de las mujeres y niñas sobre las decisiones que afectan sus vidas, además de restringir su acceso a recursos y oportunidades. Esta situación incrementa su vulnerabilidad, resultando en tasas más altas de mortalidad, morbilidad y pérdida de medios de subsistencia entre las mujeres y niñas durante los desastres (UNDRR, 2022b).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales críticos en este riesgo se pueden establecer a partir de: 1) La torrencialidad de las precipitaciones: La Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior clasifica las lluvias según su intensidad: fuertes (entre 15 y 30 mm/hora); muy fuertes (entre 30 y 60 mm/hora); y torrenciales (superiores a 60 mm/hora). En el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos se considera que la lluvia puede suponer un riesgo meteorológico a partir del nivel de lluvias fuertes y bajo esta idea se establecen los umbrales de precipitación acumulada en 1 hora y en 12 horas para las diferentes zonas meteorológicas del país (Ministerio de Interior, n.d.); 2) La magnitud de la inundación: La magnitud de la inundación dependerá de la extensión de la zona inundada, de la altura y velocidad que alcance el agua, del tiempo de llegada de la inundación y su tiempo de permanencia, de la cantidad de sólidos transportados, etc. Con más de 1 m el agua puede causar daños estructurales en los edificios. Por eso en las normativas se suele utilizar el umbral de 1 m de altura de agua como una de las hipótesis de cálculo de la zona de graves daños por inundaciones (Bravo, 2017); (CCS, 2017). 3) La magnitud de las sequías: De acuerdo con las directrices de la Dirección General del Agua (DGA) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), se ha establecido un umbral de detección de situaciones de sequía prolongada en un valor de 0,3. Así, cuando el Índice de Estado de Sequía (IES) mensual de cada Unidad Territorial de Sequía se acerque a 0, indicará las sequías prolongadas más severas, mientras que al aproximarse a 1 señalará condiciones opuestas. Este umbral podría estar vinculado con el desabastecimiento de agua en ciudades. 4) Las temperaturas extremas: Las temperaturas por encima de ciertos umbrales pueden afectar sustancialmente a la producción de energía, y por lo tanto podrían incidir en el suministro. Por ejemplo, en el caso de la producción de energía solar fotovoltaica, la eficiencia de la célula disminuye a partir de 25 °C, reduciéndose entre un 0,3-0,5 % de su potencia nominal por cada grado centígrado por encima de esa temperatura (SunFields Europe, 2025).
Lock-in/Bloqueo	Grandes inversiones en infraestructuras que no fueron diseñadas para escenarios climáticos cambiantes pueden limitar la capacidad de adaptación. Además, marcos normativos y políticos obsoletos, así como legislaciones y regulaciones que no incorporan nuevas estrategias de adaptación, pueden bloquear cambios necesarios.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Se están incorporando tanto medidas no estructurales (planes de gestión del riesgo de inundación (MITECO, n.d.), ordenación de los usos en el territorio en función del grado de inundabilidad, planes de ordenación municipal, planes especiales de protección civil, implementación de sistemas de alerta temprana) como estructurales (obras de defensa de los núcleos urbanos, materiales de construcción resistentes al agua). Además, se destaca la siguiente normativa y documentación, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias líneas de acción que se vinculan con la gestión del presente riesgo: "Vinculación y refuerzo entre la agenda urbana española y el plan nacional de adaptación al cambio climático, como marcos de gobernanza"; "Integración de la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y urbana"; e "Integración de la adaptación al cambio climático en el sector de la edificación". • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética** de España modifica el artículo 20.1 del texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, para que se contemple en la planificación urbanística local la prevención de riesgos derivados de eventos meteorológicos extremos sobre las infraestructuras y los servicios públicos esenciales (BOE, 2021). • Un número creciente de municipios españoles cuentan con algún tipo de planificación climática: Planes de acción climática, Planes de Acción para el Clima y la Energía (PACES) (SEO, 2024).
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración General del Estado: marco legal y coordinación de acciones a nivel nacional. • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Consorcio de Compensación de Seguros. • Confederaciones hidrográficas. • Comunidades autónomas: coordinación de emergencias, planificación territorial y sectorial. • Diputaciones: planes de emergencias y protección civil. • Ayuntamientos: planes locales de acción climática, planes de clima y energía, PACES, planes de emergencia municipales, PGOU, etc. • Empresas de saneamiento, drenaje, electricidad, transporte y comunicaciones. • Cuerpos de bomberos. • ONG sociales (Caritas, Oxfam, Cruz Roja etc.), parroquias, comunidades comarcales y locales, asociaciones vecinales, etc.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Mejora en la resiliencia frente a los eventos extremos. • Reducción de costes de operación y mantenimiento. • Reducción de los riesgos en cascada identificados.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Las necesidades económicas producidas por los daños derivados de los eventos extremos podrían reducir la capacidad de acción climática en términos económicos, retrasando la implementación de tecnologías más sostenibles y ralentizado así el proceso hacia la descarbonización. • La incorporación de infraestructura verde para mejorar la permeabilidad y, por lo tanto, la resiliencia frente a inundaciones puede incrementar los sumideros de carbono urbanos.
Déficits de información	• Mapas de peligrosidad y riesgo de otros peligros (por ejemplo, deslizamientos de tierra). • Información de riesgo no adaptada suficientemente a las unidades geográficas provinciales, comarcales, municipales. • Mensajes de alerta no entendibles o adaptados a los perfiles de las personas receptoras.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.3. RC7.3. Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas

Este riesgo ha sido calificado como riesgo clave debido a su amplio alcance, tanto en términos de extensión geográfica como en la cantidad de población afectada, así como en la alta probabilidad de que se acentúe en el corto plazo. Además, al igual que el riesgo clave previamente expuesto, afecta de manera desproporcionada a ciertos grupos vulnerables, como personas menores, personas mayores, personas con discapacidad o migrantes. Este riesgo también tiene el potencial de generar impactos en cascada (ver **Figura 6**) y se intensifica significativamente cuando se superan ciertos umbrales.

La **Figura 6** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligros climáticos, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y está modulado por los peligros climáticos, los distintos factores de vulnerabilidad, la exposición y por otros factores del riesgo subyacente que lo amplifican. Del riesgo se derivan potenciales impactos y riesgos en cascada, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

El riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo y otros espacios cerrados en ciudades por altas temperaturas es especialmente relevante debido a múltiples factores. Entre estos cabría citar: i) una gran mayoría de las actividades, aproximadamente el 90 %, se realizan dentro de estructuras construidas, como viviendas, lugares de trabajo, espacios de ocio interiores o educativos (Lan *et al.*, 2021); ii) en España el 42 % de la energía que se consume en el ámbito doméstico se dedica a la climatización (OCU, n.d.); iii) se prevén incrementos de la temperatura máxima en todos los escenarios de emisiones y temporales, alcanzando valores de incremento de hasta 5-6 °C para finales de siglo en un escenario de altas emisiones. Además, un estudio reciente sugirió que antes de 2040 podrían ocurrir en Europa eventos extremos de calor típicos de un clima de fin de siglo (EEA, 2024); iv) el porcentaje de la población urbana en la UE pasará del actual 74 % a más del 83 % en el año 2050 (Climate-ADAPT, n.d.); v) el porcentaje de población de 65 años y más, que en 2024 era el 20,4 % del total, alcanzará un máximo del 30,5 % en torno a 2055 (INE, 2024a).

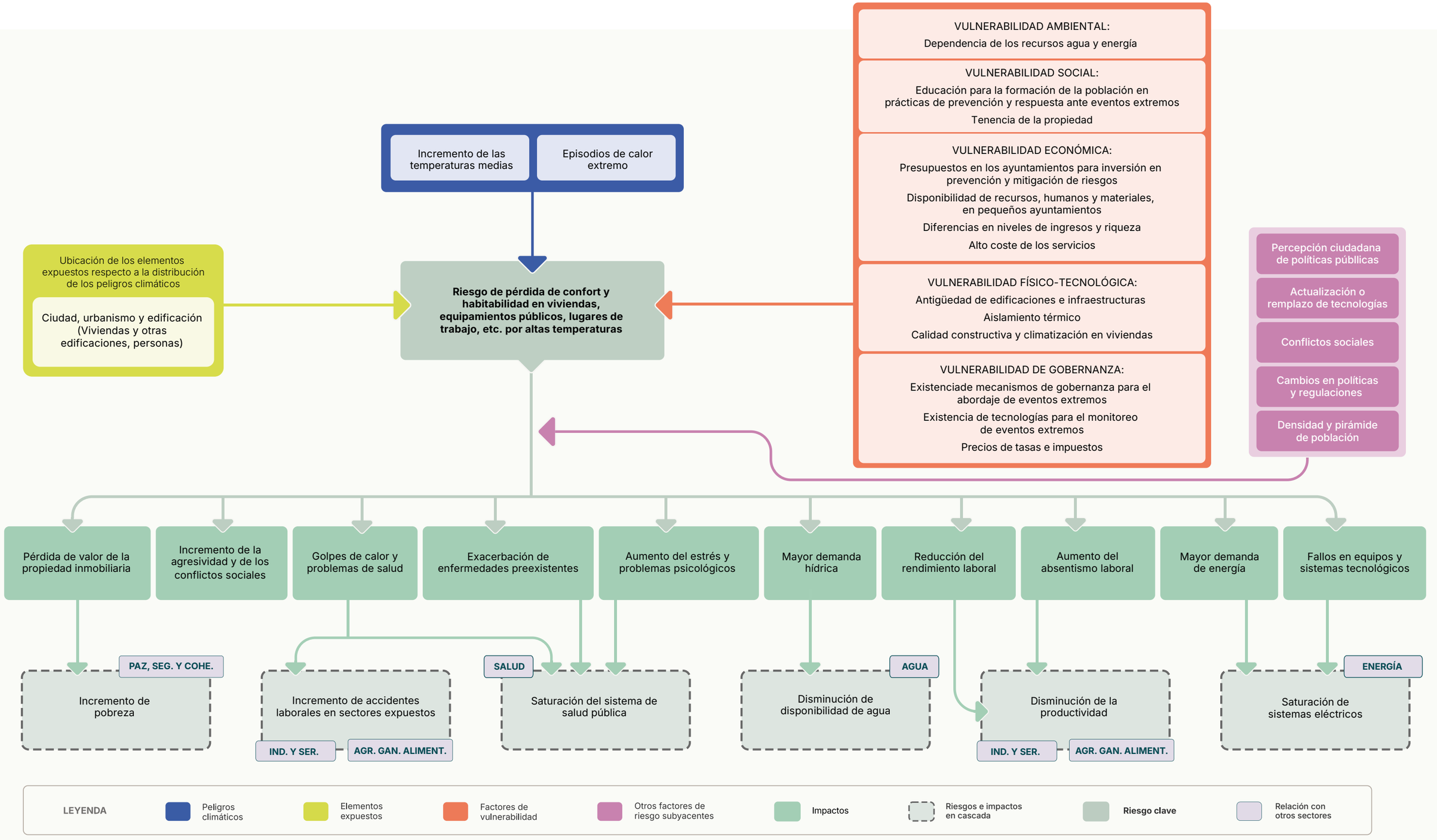


Figura 6. Cadena de impacto del riesgo clave de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas.

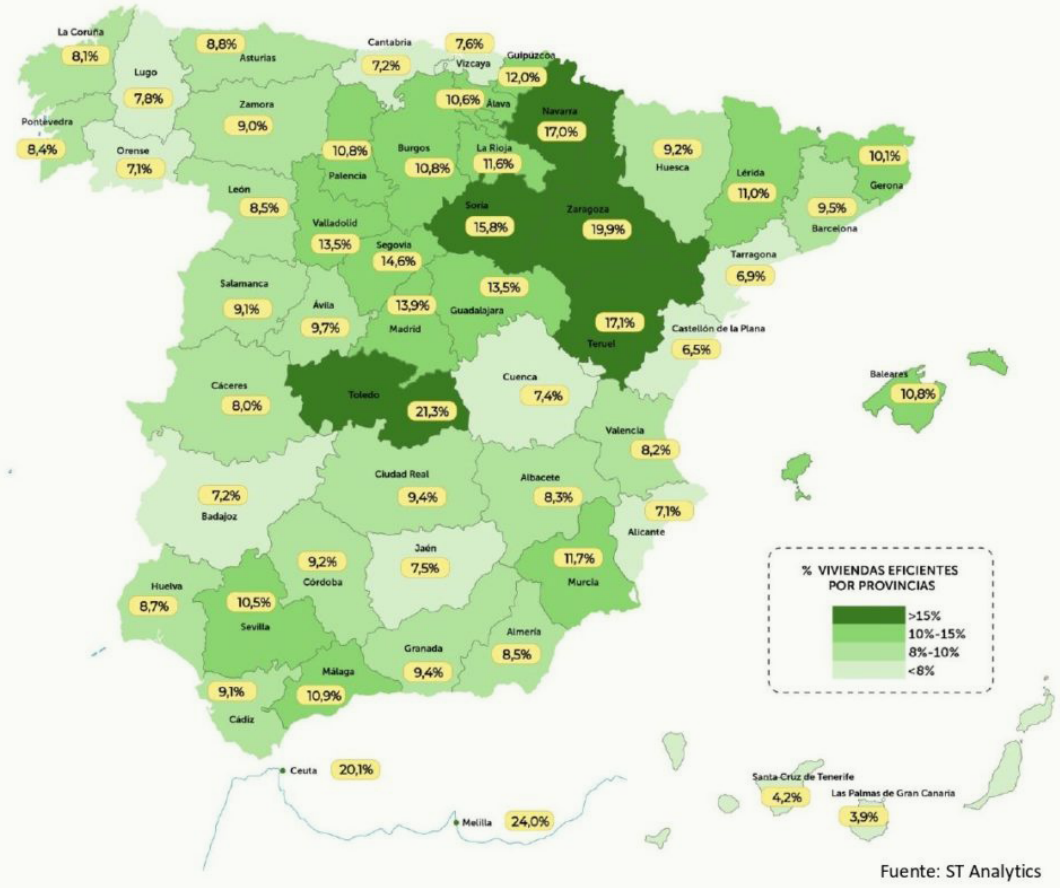


Figura 7. Viviendas eficientes (%) por provincias (Diario de Rivas, 2024).

En este contexto, existen complejidades o desafíos adicionales relacionados con que las necesidades de refrigeración son muy altas: el 50 % de las viviendas pueden estar mal aisladas, ya que se han construido antes de 1980, fecha en la que se empezó a exigir la instalación de aislamientos térmicos en los edificios nuevos y, de esos inmuebles más antiguos (9,7 millones), un millón se encuentra en mal estado de conservación. Por otro lado, el 81 % de las viviendas tienen una pobre calificación energética (E, F o G) (CSCAE, 2022).

Estas necesidades de gran escala implican costes muy altos. Así, desde la OCU (OCU, n.d.) indican que calentar una vivienda de 90 m^2 en zona D (Madrid) que tenga una etiqueta E requiere casi 10 veces más energía que una vivienda similar con etiqueta A, lo que supone casi 1.000 €/año de sobrecoste. Aislarla, incluyendo la instalación, acabados, pintura e impuestos, oscilaría entre 1.350 euros, si se hace una reforma ligera (aislamiento parcial de los muros exteriores), y 11.500 euros si se opta por un mayor espesor del aislamiento y un cambio de ventanas. Según el portal Idealista (2025), el precio medio para la instalación en España de un sistema *Split* de aire acondicionado (el más habitual en la

mayoría de las viviendas) es de alrededor de 2.200 euros. Por su parte, la instalación, partiendo de cero, de un sistema de aire acondicionado por conductos oscilaría entre 2.400 y 4.500 euros en la mayoría de las ocasiones.

Aquellas personas en situación de pobreza, con bajos ingresos o con inseguridad en la tenencia de la propiedad podrían verse imposibilitadas para realizar reformas y, por tanto, se encontrarían más expuestas al riesgo. Además, las elevadas tarifas eléctricas hacen que una parte significativa de la población no pueda acceder a la refrigeración, exacerbando aún más la magnitud del impacto frente a las temperaturas extremas. Un estudio del Institut Metròpoli (Satorras *et al.*, 2023), sobre las percepciones y estrategias de adaptación al calor extremo en 1.200 hogares vulnerables al calor en el ámbito metropolitano de Barcelona, indica que, aunque más del 60 % de las personas contactadas declaran tener aparatos de aire acondicionado, el 30,7 % de ellas afirma que no puede mantener la vivienda a una temperatura adecuada durante el verano. Asimismo, las viviendas localizadas en zonas geográficas con mayor exposición a las altas temperaturas, las correspondientes a núcleos urbanos mayores o las situadas en el centro de las ciudades, donde a menudo hay concentración de edificaciones y carencia de suficientes espacios públicos, presentan un riesgo añadido.

Las consecuencias de inacción en relación a las altas temperaturas son múltiples: la pérdida de confort y habitabilidad en las viviendas implica mayor consumo energético para climatización (y por lo tanto, mayor emisión de GEI), pérdida de valor de la propiedad inmobiliaria en el mercado de la vivienda, pérdida de productividad laboral de aquellas personas que teletrabajan en sus viviendas o por falta de descanso nocturno, mayor demanda hídrica, fallos en equipos y sistemas tecnológicos, incremento de los índices de pobreza y exclusión social, e impactos en la salud física y mental.

Esto último se refleja en el aumento de enfermedades respiratorias, golpes de calor, alergias, problemas cardiovasculares, trastornos mentales como estrés, ansiedad y depresión, así como la exacerbación de enfermedades preexistentes, lo que conlleva también un incremento significativo en los gastos públicos asociados.

Diversos estudios apuntan también a que las altas temperaturas pueden afectar al estado de ánimo, incluyendo las conductas agresivas y depresivas (UNAM Global, 2024). Desde el Centro Nacional para la Información Biotecnológica de Estados Unidos (Kim *et al.*, 2023) se recoge también que el riesgo general de muerte por agresión se incrementa un 1,4 % por cada grado que aumenta la temperatura ambiente, especialmente en hombres, adolescentes y personas con menor nivel educativo.

Por último, ciertas condiciones sociales e institucionales, como el desconocimiento de las medidas de protección y respuesta adecuadas, así como la falta de mecanismos de gobernanza efectivos para enfrentar eventos extremos en las ciudades, pueden agravar significativamente los efectos del riesgo.

Ficha 3. Resumen del riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Catastrófica	Catastrófica	Catastrófica
	Las olas de calor de 2022 causaron 61.672 muertes atribuibles al calor en Europa, de las cuales 11.324 (18,4 %) correspondían a España (Ballester *et al.*, 2023). Peseta IV (Naumann *et al.*, 2020) recoge que, en el periodo de referencia 1981-2010, 9,6 millones de europeos están expuestos anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años, pudiendo ocasionar la muerte a 2.750 personas, que se concentran en el sur de Europa (Francia, Italia y España). Una encuesta nacional (INE, 2024b) recoge que el 27,5 % de los hogares no puede mantener una temperatura suficientemente cálida durante los meses fríos.	El aumento previsto de la duración y la intensidad de las olas de calor, junto con la creciente urbanización y el envejecimiento de la población, dará lugar a un aumento de los grupos vulnerables y de los riesgos para la salud, especialmente en el sur de Europa (EEA, 2024). Peseta IV (Naumann *et al.*, 2020) recoge que 105 millones de personas se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años en el periodo 1981-2010 y que 30.300 personas morirán.	El aumento previsto de la duración y la intensidad de las olas de calor, junto con la creciente urbanización y el envejecimiento de la población, dará lugar a un aumento de los grupos vulnerables y de los riesgos para la salud, especialmente en el sur de Europa. En 2050, los ciudadanos mayores de 65 años constituirán casi el 30 % de la población (EEA, 2024). Peseta IV (Naumann *et al.*, 2020) recoge que 172 millones de personas se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años en el periodo 1981-2010 y que 52.400 personas morirán.	Los riesgos para la salud seguirán aumentando, especialmente en el sur de Europa. Podrían producirse olas de calor intensas casi todos los años en el sur de Europa. Sin una adaptación adecuada, se pueden esperar 90 000 muertes por calor extremo al año con niveles de calentamiento alto. (EEA, 2024). Peseta IV (Naumann *et al.*, 2020) recoge que 298 millones de personas se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años en el periodo 1981-2010 y que 96.000 personas morirán.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	El 33,6 % no tiene una temperatura suficientemente fresca (inferior a 25 °C) durante el verano, destacando con porcentajes superiores Región de Murcia (46,6 %), Comunidad de Madrid (37,7 %) y Andalucía (37,1 %).			
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio
	No se han identificado datos específicos para este riesgo. En su lugar se proporciona información proxy sobre el grado de exposición y número de muertes por olas de calor estimados en informes europeos, sin cifras concretas para España.	No se han identificado datos específicos para este riesgo. En su lugar se proporciona información proxy sobre el grado de exposición y número de muertes por olas de calor estimados en informes europeos, sin cifras concretas para España.	No se han identificado datos específicos para este riesgo. En su lugar se proporciona información proxy sobre el grado de exposición y número de muertes por olas de calor estimados en informes europeos, sin cifras concretas para España.	No se han identificado datos específicos para este riesgo. En su lugar se proporciona información proxy sobre el grado de exposición y número de muertes por olas de calor estimados en informes europeos, sin cifras concretas para España, si bien la incertidumbre en este periodo es mayor dada su lejanía en el tiempo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incremento de las temperaturas medias. • Episodios de calor extremo.	• Viviendas y otras edificaciones. • Personas.	• Tenencia de la propiedad. • Precio de tasas e impuestos. • Antigüedad de edificaciones. • Aislamiento térmico. • Educación comunitaria para la formación de la población en prácticas de prevención y respuesta. • Dependencia de los recursos agua y energía. • Calidad constructiva y climatización en viviendas. • Pobreza y desigualdad de ingresos y riqueza. • Altos costes de los servicios. • Mecanismos de gobernanza para el abordaje de eventos extremos en ciudades.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, alojamientos turísticos y equipamientos públicos puede afectar al turismo internacional de manera indirecta y reducir la competitividad con otras ciudades. Aunque desde 1961 hasta 2024 la temperatura media anual en España ha aumentado 1.69 °C (AEMET, 2025a), este hecho no ha supuesto, de momento, una reducción en el número de visitantes o de la estancia media, y España continúa siendo uno de los principales destinos de turismo internacional. No obstante, a corto plazo (2021-2040), periodo en el que se estima un nivel de calentamiento de aproximadamente de 1°C, podría aumentar el número de turistas internacionales que se queden en sus países de origen o escojan otros destinos, o que turistas domésticos opten más por destinos en el extranjero. Se estima que esto podría conllevar una reducción de 0,21% en las pernoctaciones (García-León *et al.*, 2025), con unas potenciales pérdidas asociadas de alrededor de 99 millones de euros. Un incremento en la demanda de energía para refrigeración, debido al aumento de las temperaturas, podría implicar la necesidad de importar energía. En situaciones de sequía, además, puede implicar un aumento de la demanda de agua embalsada, o la necesidad de trasvasar agua desde cuencas limítrofes. Esto podría generar conflictos internacionales. De hecho, existen tensiones históricas con Portugal en épocas de sequía por el uso de recursos hídricos en cuencas binacionales (CTXT, 2024); (Gobierno de España, 2024). Las cuencas compartidas con Portugal afectan a las siguientes comunidades autónomas:

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	1. Cuenca del Tajo: Castilla-La Mancha, Comunidad de Madrid, Extremadura, Castilla y León, Aragón. 2. Cuenca del Duero: Castilla y León, Galicia, Cantabria, Castilla-La Mancha, Extremadura, La Rioja y Madrid. 3. Cuenca del Guadiana: Castilla-La Mancha, Extremadura y Andalucía. 4. Cuenca del Miño-Sil: Galicia y Castilla y León.
Territoriales	Las viviendas y demás edificios urbanos se extienden por todo el territorio nacional. Se estima que una gran mayoría de nuestras actividades, aproximadamente el 90 %, se realizan dentro de estructuras construidas, como viviendas, lugares de trabajo, espacios de ocio interiores o educativos (Lan *et al.*, 2021). Aquellas viviendas localizadas en zonas geográficas con mayor exposición a las altas temperaturas, las correspondientes a núcleos urbanos más grandes o las situadas en el centro de las ciudades, donde a menudo hay concentración de edificaciones y carencia de suficientes espacios abiertos, presentan un riesgo añadido.
Sociales	Comunidades y grupos sociales más expuestos o vulnerables al riesgo: • Poblaciones donde se concentra un mayor número de habitantes. • Personas en situación de pobreza o exclusión social: en general cuentan con viviendas de peor calidad. Además, se cuenta con menor poder adquisitivo para hacer uso de equipos de climatización, tienen dificultades en el acceso a recursos básicos y no tienen acceso a cobertura sanitaria (EEA, 2019). Un grupo especialmente preocupante lo constituyen las personas sin hogar. • Infancia: Además de tener desventajas termorreguladoras en relación con los adultos (UNICEF, 2017); (UNICEF, 2023), muchos centros escolares españoles tienen baja calidad constructiva y unos sistemas de climatización deficientes (Life, n.d.). • Personas mayores y personas en situación de dependencia que pasan la mayor parte del tiempo en su domicilio: tienen reducidas sus capacidades de termorregulación (Borunda, 2024). • Personas con discapacidad: algunas personas tienen tratamientos con fármacos que alteran la termorregulación; las personas con discapacidad tienen mayor probabilidad de estar en situación de pobreza, lo que implica menor acceso a sistemas de climatización o menor acceso a dispositivos tecnológicos que informen de las alertas y comunicados oficiales (Kosanic *et al.*, 2022); (Twigg *et al.*, 2018).
Maladaptación	• El uso del aire acondicionado, aunque representa una forma de adaptación a la pérdida de confort y habitabilidad en interiores, puede convertirse en una medida de maladaptación si se plantea como única solución. Esto puede cerrar la puerta a estrategias más costoeficientes y sostenibles, como la mejora de aislamientos en edificios, el rediseño del espacio público, la mejora de la infraestructura verde o la planificación urbana orientada a reducir el efecto isla de calor. • Realización de rehabilitaciones deficientes que carecen de ventilación natural.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Género	Las mujeres, al pasar más tiempo dentro del hogar por asumir mayor cantidad de tareas de cuidado, se encuentran más expuestas a este riesgo. Además, la menor capacidad económica de muchas mujeres y de familias monoparentales encabezadas por mujeres puede limitar el acceso a refrigeración o vivienda adecuada para resistir el calor. Esta menor capacidad económica se debe al mayor subempleo y discriminación salarial (Ministerio de Trabajo y Economía social, 2022).

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Existen diferentes tipos de umbrales para evaluar este riesgo: • Zonas climáticas del Código Técnico de la Edificación (MIVAU, n.d.): El CTE clasifica España en 5 zonas, definidas mediante una combinación de letras (de la A a la E, según la severidad climática en invierno) y números (del 1 al 4, según severidad climática en verano), indicando la necesidad de que las construcciones sean eficientes y estén adaptadas a las condiciones ambientales específicas de cada área. • Eficiencia energética de las viviendas: en España se mide en una escala de letras que va desde la A (máxima eficiencia)[9] hasta la G (mínima eficiencia). Esta clasificación refleja el consumo energético necesario para mantener el confort en la vivienda, considerando factores como el aislamiento térmico, la ventilación, la calefacción y la refrigeración. • Avisos por temperaturas máximas (con niveles amarillo, naranja y rojo) establecidos y difundidos a través del Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (AEMET, 2025b). • Avisos del Ministerio de Sanidad, que establece un nuevo sistema basado en zonas isoclimáticas (no provincias) y en umbrales de impacto en la salud (temperaturas a partir de las cuales aumenta la mortalidad) (Ministerio de Sanidad, n.d.); (SMC España, 2025).
Lock-in/Bloqueo	En muchos casos, las instalaciones con mejor eficiencia energética requieren una inversión significativa que se amortiza a medio-largo plazo. Por ello, inversiones recientes que no respondan a la necesidad de adaptación a temperaturas extremas pueden generar un riesgo de bloqueo, al requerir inversiones adicionales que aumentan el periodo de amortización.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[9] En España, este umbral resulta muy relevante, dado que el 81 % de los edificios se encuentra clasificado en las categorías E, F o G en cuanto a emisiones, y este porcentaje aumenta al 84,5 % cuando se considera el consumo energético (MIVAU).

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo destaca la **Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios**. A nivel nacional destaca la siguiente normativa y documentación, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se encuentra una línea de acción que responde a este riesgo: integración de la adaptación al cambio climático en el sector de la edificación. • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** establece el desarrollo del Plan de Rehabilitación de Viviendas y Renovación Urbana con el objetivo de mejorar el parque edificado, independientemente de su titularidad, a efectos de cumplimentar los indicadores de eficiencia energética establecidos en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) (BOE, 2021). • El **Plan Nacional Integrado de Energía y Clim**a. • Implementación de la Agenda Urbana Española: **Plan de rehabilitación y regeneración urbana** (MIVAU, 2021). El plan constituye el Componente 2 (Gobierno de España, 2023) del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR). El MIVAU y el MITECO trabajan en colaboración para la ejecución de este ambicioso plan al que se han asignado 10.820 millones de euros del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia. • La Red Española de Ciudades por el Clima, en colaboración de la Oficina Española de Cambio Climático, ha elaborado una **Guía para la elaboración de políticas municipales y planes locales de actuación ante altas temperaturas**, en la que se proponen medidas de adaptación para el ámbito local (OECC, 2024). • Gran parte de las ciudades españolas y un número creciente de municipios cuenta con algún tipo de planificación relacionada con la acción climática: Planes de acción climática, Planes de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES) (SEO, 2024), Planes de Acción Local de la Agenda Urbana Española.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. • Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. • Ministerio de Sanidad. • Ministerio de Trabajo y Economía Social. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Departamentos de vivienda de las comunidades autónomas. • Servicios de salud de las comunidades autónomas. • Servicios de prevención. • Ayuntamientos: planes locales de acción climática, planes de clima y energía (PACES), PGOU, planes de acción local de la Agenda Urbana Española, etc.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Menor número de muertes. • Disminución de costos de refrigeración. • Mayor confort térmico en edificios. • Reducción del estrés térmico. • Mayor calidad de vida. • Protección de grupos vulnerables. • Mejor salud mental. • Mayor productividad laboral. • Reducción del consumo energético. • Menor impacto del efecto isla de calor urbana. • Revalorización de los inmuebles.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• El uso de aire acondicionado puede contribuir al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero mientras persista una alta dependencia de los combustibles fósiles en el sistema eléctrico. No obstante, este impacto se reducirá progresivamente a medida que avance la transición energética y se incremente la participación de fuentes renovables en la generación eléctrica. • La incorporación de infraestructura verde para la disminución de las temperaturas en el interior de los hogares (por ejemplo, techos verdes) incrementa la fijación de carbono. • Todas las medidas de eficiencia energética aportan a un desarrollo urbano bajo en carbono.
Déficits de información	• No se dispone de información cuantitativa relativa al riesgo bajo el escenario actual y bajo escenarios futuros de cambio climático. • No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos identificados. • La información relativa al alcance espacial del riesgo y su impacto sobre la población y la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.4. RC7.4. Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas

La razón por la cual se considera este riesgo como clave radica en que afecta a núcleos urbanos de todo el territorio nacional y a sus habitantes, que son el 82 % de la población española (Grupo Banco Mundial, 2018); además de que en el corto plazo se incrementará la intensidad de los peligros que lo causan (incremento de temperaturas y duración de las olas de calor). Por otro lado, al igual que el riesgo clave previamente expuesto, afecta de manera desproporcionada a ciertos grupos vulnerables, como infancia, personas mayores, personas con discapacidad, migrantes y personas con escasos recursos económicos. Este riesgo también tiene el potencial de generar impactos en cascada (ver **Figura 8**), se intensifica significativamente cuando se superan ciertos umbrales y la recuperación de los potenciales impactos requeriría recursos significativos en un plazo corto de tiempo o sería imposible, como en el caso de provocar víctimas humanas.

La **Figura 8** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligros climáticos, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y está modulado por los peligros climáticos, los distintos factores de vulnerabilidad, la exposición y por otros factores del riesgo subyacente que lo amplifican. Del riesgo se derivan potenciales impactos y riesgos en cascada, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

En España este riesgo tiene gran importancia, sobre todo debido a las afectaciones a vidas humanas que han producido, los últimos años, las altas temperaturas en las ciudades. En un estudio de ISGlobal (2023), en el que se analizan las tasas de mortalidad entre junio y agosto de 2015 de las personas mayores residentes en 93 ciudades europeas (que agrupan a 57 millones de habitantes), seis ciudades españolas (Barcelona, Málaga, Madrid, Palma, Sevilla y Valencia) se encuentran entre las diez primeras de Europa con más muertes en verano debido al efecto isla de calor urbana. Entre estas ciudades suman un total de 7.500.000 de habitantes (15,3 % de la población de España). En el futuro, ciudades más expuestas a temperaturas extremas (especialmente aquellas ubicadas en el sur del país) o que presentan mayor densidad de población podrían verse más afectadas.

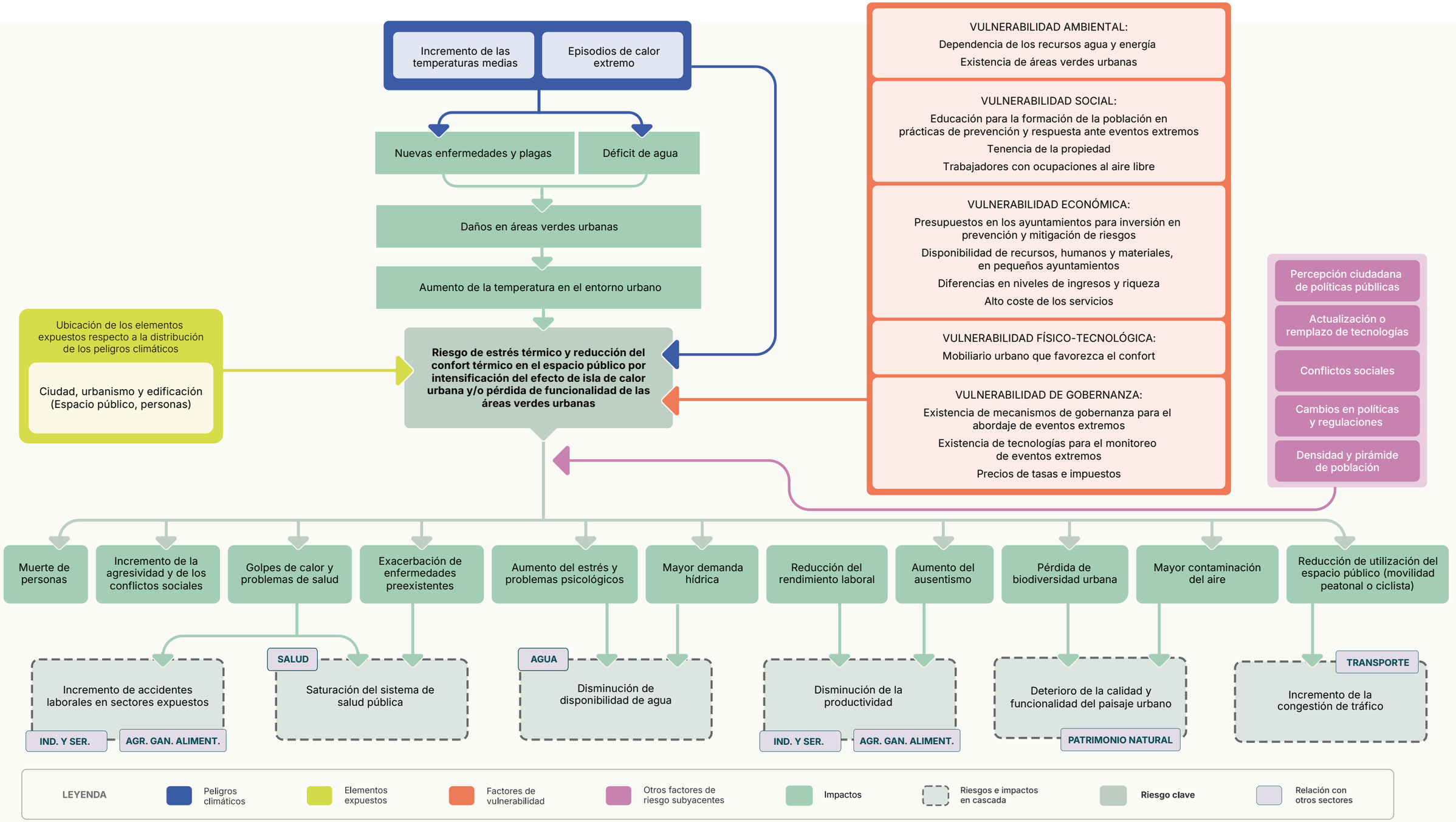


Figura 8. Cadena de impacto del riesgo clave de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas.

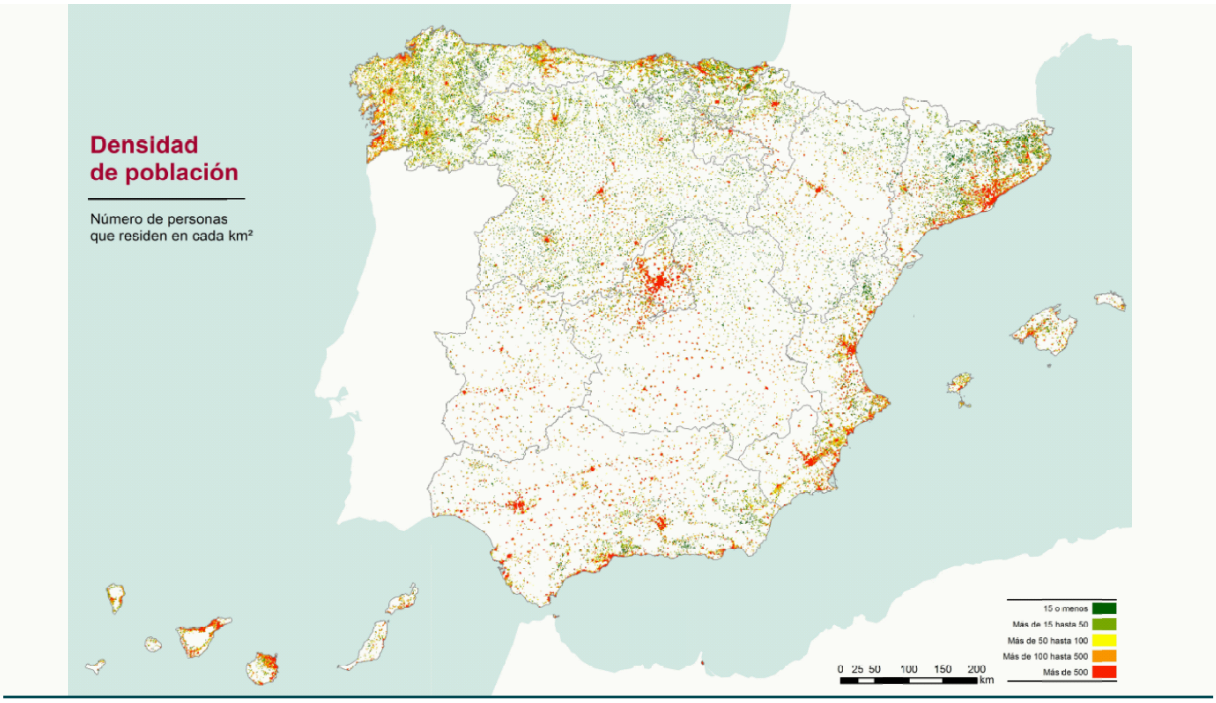


Figura 9. Densidad de población (CCS, 2020).

Además, las consecuencias adversas incidirían de manera específica en grupos sociales especialmente vulnerables: personas mayores, menores, personas con escasos recursos económicos, personas sin hogar, personas que residen en viviendas con malas condiciones de habitabilidad y que necesitan encontrar alivio o refugio en los espacios públicos urbanos (parques, jardines, calles y rincones arbolados, equipamientos deportivos y culturales) o personas que trabajan al aire libre en la ciudad (CCOO Aragón, 2024).

Por otro lado, el riesgo de aumento de las temperaturas en el espacio público tendrá un impacto más severo en la población debido a varios factores urbanos que agravan la vulnerabilidad. En primer lugar, la insuficiencia de áreas verdes urbanas limita las opciones de enfriamiento natural en las ciudades, aumentando la exposición de la población a temperaturas extremas y reduciendo la capacidad de adaptación al calor (MITECO, 2024b). De hecho, este factor podría hacer que este riesgo clave agrave los impactos del RC7.3 (*Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos y lugares de trabajo por altas temperaturas*), ya que, con un aislamiento deficiente y con incrementos en las temperaturas de los espacios públicos sin atenuación térmica por parte de espacios verdes, los efectos son mayores.

Por otro lado, la escasez o inexistencia de recursos humanos y materiales en pequeños ayuntamientos para abordar la acción climática dificulta la implementación de estrategias eficaces para mitigar los efectos del cambio climático, como la creación y mantenimiento de espacios verdes o la instalación de sistemas de refrigeración en zonas vulnerables.

Con relación a las condiciones de la ciudadanía, la falta de conocimiento sobre medidas de protección y respuesta ante eventos extremos también contribuye a que muchas personas no tomen las precauciones necesarias para reducir su exposición a las altas temperaturas, lo que además agrava los efectos en la salud pública, añadiendo mayor presión sobre el sistema de salud. La pobreza o bajos ingresos es otro factor crucial, ya que las personas con menos recursos tienen un acceso limitado a tecnologías de refrigeración (descripción con mayor detalle en el RC7.3), atención médica adecuada y servicios de emergencia, lo que aumenta su vulnerabilidad ante olas de calor. Asimismo, la dependencia del recurso agua para el consumo humano y la producción agrícola puede generar una mayor presión sobre el suministro de agua en períodos de calor extremo, exacerbando los efectos de la escasez. En este sentido, en las comunidades autónomas del centro y sur de la península, con mayores condiciones de sequías, este factor puede ser aún más crítico.

Finalmente, la insuficiencia de mecanismos de gobernanza para gestionar de manera efectiva los eventos extremos en las ciudades impide una coordinación adecuada entre las autoridades locales (HRW, 2023), las organizaciones sociales y la ciudadanía, lo que reduce la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia y agrava la desigualdad frente al riesgo de las altas temperaturas.

De forma análoga al RC7.3, este riesgo supone numerosos efectos en cascada sobre la población urbana. Por ejemplo, tendría efectos significativos sobre otros ámbitos, como una mayor carga y costes en salud pública (por golpes de calor, deshidratación, exacerbación de enfermedades crónicas, entre otras); una menor productividad laboral (por fatiga o disminución de la capacidad de concentración) en trabajadores de la construcción, obras públicas, infraestructuras, mantenimiento de jardines y zonas verdes; un aumento en la accidentalidad y mortalidad entre las personas trabajadoras; un aumento del estrés psicológico, malestar emocional o agresividad (UNAM Global, 2024), etc.

Por otro lado, el aumento de las temperaturas acelera la degradación de la infraestructura verde urbana, lo que lleva a un incremento en el gasto para la recuperación y mantenimiento. Simultáneamente, disminuye su capacidad de proporcionar sombra, regular la temperatura y servir como refugios para la biodiversidad local (MITECO, 2024b). Esto también reduce la resiliencia de las ciudades ante futuros eventos climáticos extremos.

Por último, las altas temperaturas pueden sobrecargar los sistemas de respuesta rápida ante emergencias, dificultando la capacidad de las autoridades para actuar con eficiencia y eficacia ante desastres climáticos como incendios o apagones eléctricos debidos a sobredemanda. La falta de recursos, personal y coordinación entre diferentes niveles de administración puede prolongar la recuperación y aumentar las pérdidas humanas y materiales.

Ficha 4. Resumen del riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Catastrófica	Catastrófica	Catastrófica
	Las olas de calor de 2022 causaron 61.672 muertes atribuibles al calor en Europa, de las cuales 11.324 (18,4 %) correspondían a España (Ballester *et al.*, 2023). Peseta IV (Naumann *et al.*, 2020) recoge que, en el periodo de referencia 1981-2010, 9,6 millones de europeos están expuestos anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años, pudiendo ocasionar la muerte a 2.750 personas, que se concentran en el sur de Europa (Francia, Italia y España). El promedio del índice Universal de Clima Térmico (UTCI), obtenido por Lobelia para España a partir de los datos de 30 ciudades, se sitúa en 2010 en 31 °C, con una horquilla que oscila entre 22 y 38 °C (El País, 2023b).	El aumento previsto de la duración y la intensidad de las olas de calor, junto con la creciente urbanización y el envejecimiento de la población, dará lugar a un aumento de los grupos vulnerables y de los riesgos para la salud, especialmente en el sur de Europa (EEA, 2024).Peseta IV (Naumann *et al.*, 2020) recoge que 105 millones de personas se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años en el periodo 1981-2010 y que 30.300 personas morirán. Según el estudio de Lobelia (El País, 2023b), la previsión para 2030 es que aumente ligeramente el disconfort a nivel nacional, pasando a tener un UTCI de 31,6 °C (horquilla entre 23,1 y 39,5 °C).	El aumento previsto de la duración y la intensidad de las olas de calor, junto con la creciente urbanización y el envejecimiento de la población, dará lugar a un aumento de los grupos vulnerables y de los riesgos para la salud, especialmente en el sur de Europa. En 2050, los ciudadanos mayores de 65 años constituirán casi el 30 % de la población (EEA, 2024). Peseta IV (Naumann *et al.*, 2020) recoge que 172 millones de personas se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años en el periodo 1981-2010 y que 52.400 personas morirán. Según el estudio de Lobelia (El País, 2023b), la previsión para 2050 es que continúe aumentando el disconfort, alcanzando el UTCI un valor promedio de 33,1 °C (horquilla entre 23,6 y 40,5 °C).	Los riesgos para la salud seguirán aumentando, especialmente en el sur de Europa. Podrían producirse olas de calor intensas casi todos los años en el sur de Europa. Sin una adaptación adecuada, se pueden esperar 90 000 muertes por calor extremo al año con niveles de calentamiento alto. (EEA, 2024). Peseta IV (Naumann *et al.*, 2020) recoge que 298 millones de personas se verán expuestas anualmente a una ola de calor cuya probabilidad es de una vez cada 50 años en el periodo 1981-2010 y que 96.000 personas morirán. Para el año 2090 se estima, según el estudio de Lobelia (El País, 2023b), que el promedio del UTCI se dispare hasta los 36,4 °C (horquilla entre 25,5 °C y 43,6 °C), lo que representa un incremento medio de 5,4 °C con respecto al año 2010. Este nivel de disconfort no afecta a todas las ciudades analizadas por igual, ya que es en las ciudades con clima continental donde más crecerá (Zaragoza, Valladolid, Pamplona o Madrid, entre otras), donde se esperan incrementos de más de 7 °C en el UTCI.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio
	No se han identificado datos específicos para este riesgo. En su lugar se proporciona información proxy sobre el grado de exposición y número de muertes por olas de calor estimados en informes europeos, sin cifras concretas para España.	No se han identificado datos específicos para este riesgo. En su lugar se proporciona información proxy sobre el grado de exposición y número de muertes por olas de calor estimados en informes europeos, sin cifras concretas para España.	No se han identificado datos específicos para este riesgo. En su lugar se proporciona información proxy sobre el grado de exposición y número de muertes por olas de calor estimados en informes europeos, sin cifras concretas para España.	No se han identificado datos específicos para este riesgo. En su lugar se proporciona información proxy sobre el grado de exposición y número de muertes por olas de calor estimados en informes europeos, sin cifras concretas para España, si bien la incertidumbre en este periodo es mayor dada su lejanía en el tiempo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incremento de las temperaturas medias. • Episodios de calor extremo.	• Espacio público. • Personas.	• Existencia de áreas verdes urbanas. • Disponibilidad de recursos, humanos y materiales, en pequeños ayuntamientos para abordar la acción climática. • Trabajadores con ocupaciones al aire libre. • Educación comunitaria para la formación de la población en prácticas de prevención y respuesta. • Existencia de tecnologías para el monitoreo de eventos extremos. • Pobreza y desigualdad de ingresos y riqueza. • Dependencia de los recursos agua y energía. • Mecanismos de gobernanza para el abordaje de eventos extremos en ciudades.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El estrés térmico y la reducción del confort térmico en el espacio público pueden afectar al turismo internacional de manera directa y reducir la competitividad con otras ciudades. Aunque desde 1961 hasta 2024 la temperatura media anual en España ha aumentado 1.69 °C (AEMET, 2025a), este hecho no ha supuesto, de momento, una reducción en el número de visitantes o de la estancia media, y España continúa siendo uno de los principales destinos de turismo internacional. No obstante, a corto plazo (2021-2040), periodo en el que se estima un nivel de calentamiento de aproximadamente de 1°C, podría aumentar el número de turistas internacionales que se queden en sus países de origen o escojan otros destinos, o que turistas domésticos opten más por destinos en el extranjero. Se estima que esto podría conllevar una reducción de 0,21% en las pernoctaciones (García-León *et al.*, 2025), con unas potenciales pérdidas asociadas de alrededor de 99 millones de euros. Un incremento en la demanda de energía para refrigeración, debido al aumento de las temperaturas, podría implicar la necesidad de importar energía. En situaciones de sequía, además, puede implicar un aumento de la demanda de agua embalsada, o la necesidad de trasvasar agua desde cuencas limítrofes. Esto podría generar conflictos internacionales. De hecho, existen tensiones históricas con Portugal en épocas de sequía, por el uso de recursos hídricos en cuencas binacionales (CTXT, 2024); (Gobierno de España, 2024). Las cuencas compartidas con Portugal afectan a las siguientes comunidades autónomas:

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	1. Cuenca del Tajo: Castilla-La Mancha, Comunidad de Madrid, Extremadura, Castilla y León, Aragón. 2. Cuenca del Duero: Castilla y León, Galicia, Cantabria, Castilla-La Mancha, Extremadura, La Rioja y Madrid. 3. Cuenca del Guadiana: Castilla-La Mancha, Extremadura y Andalucía. 4. Cuenca del Miño-Sil: Galicia y Castilla y León.
Territoriales	El riesgo será mayor en ciudades más grandes donde haya escasez de vegetación y zonas verdes, y con una alta concentración de edificaciones.
Sociales	Comunidades y grupos sociales más expuestos o vulnerables al riesgo: • Poblaciones donde se concentra un mayor número de habitantes. • Personas que trabajan al aire libre: se encuentran más expuestas al riesgo. • Personas migrantes: gran cantidad de ellas trabajan en condiciones precarias (la falta de sombra, la carencia de vestimenta/uniformes adecuados, la insuficiencia de hidratación o de descansos en trabajos físicos duros son características comunes) (CES, 2019). • Personas en situación de pobreza o exclusión social: en general cuentan con viviendas de peor calidad y necesitan refugiarse en espacios públicos urbanos. Además, se cuenta con menor poder adquisitivo para hacer uso de equipos de climatización, tienen dificultades en el acceso a recursos básicos y falta de acceso a cobertura sanitaria (EEA, 2019). Un grupo especial lo constituyen las personas sin hogar. • Infancia: Presentan desventajas termorreguladoras en relación con los adultos (UNICEF, 2017); (UNICEF, 2023). • Personas mayores: tienen también reducida su capacidad de termorregulación (Borunda, 2024). • Personas con discapacidad: algunas personas tienen tratamientos con fármacos que alteran la termorregulación; las personas con discapacidad tienen mayor probabilidad de estar en situación de pobreza, lo que implica menor acceso a sistemas de climatización y/o menor acceso a dispositivos tecnológicos que informen de las alertas y comunicados oficiales (Kosanic *et al.*, 2022); (Twigg *et al.*, 2018).
Maladaptación	El uso del aire acondicionado, aunque representa una forma de adaptación al estrés térmico, puede convertirse en una medida de maladaptación si se plantea como única solución. Esto puede cerrar la puerta a estrategias más costoeficientes y sostenibles, como el rediseño del espacio público, la mejora de la infraestructura verde o la planificación urbana orientada a reducir el efecto isla de calor.
Género	La menor capacidad económica de muchas mujeres y familias monoparentales encabezadas por mujeres puede limitar el acceso a refrigeración o vivienda adecuada para resistir el calor. Esta menor capacidad económica se debe al mayor subempleo y discriminación salarial (Ministerio de Trabajo y Economía social, 2022).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Existen diferentes tipos de umbrales para evaluar este riesgo, establecidos a partir de valores de temperaturas: • El índice UTCI (Universal Thermal Climate Index), que es un índice utilizado para evaluar el impacto del clima en el confort térmico humano, considerando factores como la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar. Este índice clasifica el estrés térmico en diferentes umbrales, que ayudan a entender las condiciones de confort o riesgo térmico para la salud (Jendritzky *et al.*, 2012). • Avisos por temperaturas máximas (con niveles amarillo, naranja y rojo) establecidos y difundidos a través del Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (AEMET, 2025b). • Avisos del Ministerio de Sanidad, que establece un nuevo sistema basado en zonas isoclimáticas (no provincias) y en umbrales de impacto en la salud (temperaturas a partir de las cuales aumenta la mortalidad) (Ministerio de Sanidad, n.d.); (SMC España, 2025).
Lock-in/Bloqueo	Falta de espacio para nuevas áreas verdes debido a la densificación urbana y la expansión de infraestructuras.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo, el **Reglamento 2024/1991**, relativo a la **restauración de la naturaleza**, establece en su Artículo 8 que los Estados miembros deben garantizar que no haya un deterioro neto en los ecosistemas urbanos, requiriéndoles, además, que implementen medidas para aumentar la superficie y mejorar la calidad de los espacios verdes urbanos y la cobertura arbórea. Se enfatiza la importancia de integrar la naturaleza en las zonas urbanas para contribuir a la sostenibilidad ambiental, promover la biodiversidad y mejorar la resiliencia contra los efectos del cambio climático. Por otro lado, existe la **Estrategia de la UE sobre la Biodiversidad a 2030**. Entre otros objetivos, estimula a las ciudades de más de 20.000 habitantes a poner en marcha ambiciosos **planes de ecologización urbana**. A nivel nacional destaca la siguiente normativa y recursos documentales y financieros, relacionados con la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se encuentran varias líneas de acción relacionadas con este riesgo. Por ejemplo, integrar la adaptación al cambio climático en la planificación territorial y urbana o promover medidas de adaptación al cambio climático que aprovechen el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza como medio para fortalecer la resiliencia de especies y ecosistemas. Además, la Ley 7/2021 prevé que el PNACC promueva y priorice la adaptación al cambio climático basada en ecosistemas, el desarrollo de las infraestructuras verdes y las soluciones basadas en la naturaleza. • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** sugiere que, en el marco de los PMUS que están obligadas a redactar las ciudades de más de 50.000 habitantes, se creen, entre otras posibles medidas, corredores verdes intraurbanos que conecten los espacios verdes con las grandes áreas verdes periurbanas (BOE, 2021). • La Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (MITECO, n.d.) es una herramienta que impulsará medidas de recuperación de espacios verdes y azules también en el medio urbano. • Ayudas a planes piloto de Agenda Urbana Local y a regeneración de barrios (MIVAU, componente 2 del PRTR). • Ayudas a la renaturalización urbana (Fundación Biodiversidad, PRTR y FEDER).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• Leyes de ámbito regional que obligan a sus municipios a elaborar planes contra el cambio climático, como en Andalucía (Gobierno de Andalucía, 2018) o el País Vasco (Gobierno Vasco, 2024), por ejemplo. • La Red Española de Ciudades por el Clima, con la colaboración de la Oficina Española de Cambio Climático, han elaborado una **Guía para la elaboración de políticas municipales y planes locales de actuación ante altas temperaturas**, en la que se proponen medidas de adaptación para el ámbito local (OECC, 2024). • La Federación Española de Municipios y Provincias también cuenta con una publicación de interés: **Guía Divulgativa de la Infraestructura Verde Municipal** (FEMP, 2019). • Gran parte de las ciudades españolas y un número creciente de municipios cuenta con algún tipo de planificación relacionada con la acción climática: Planes de acción climática, Planes de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES) (SEO, 2024), Planes de Acción Local de la Agenda Urbana Española, etc.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. • Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana. • Ministerio de Sanidad. • Ministerio de Trabajo y Economía Social. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Departamentos de ordenación territorial de las comunidades autónomas. • Servicios de salud de las comunidades autónomas. • Servicios de prevención. • Ayuntamientos: planes locales de acción climática, planes de clima y energía (PACES), PGOU, proyectos de renaturalización urbana, etc. • Empresas, asociaciones de empresarios, sindicatos, asociaciones profesionales, colegios profesionales, etc.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Disminución de costos de refrigeración. • Mayor confort térmico en edificios. • Reducción del estrés térmico. • Protección de grupos vulnerables. • Mayor productividad laboral. • Reducción del consumo energético. • Menor efecto isla de calor urbana. • Promoción de la actividad al aire libre. • Reducción de enfermedades relacionadas con el calor.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	El incremento de áreas verdes para atenuar los efectos de isla de calor urbana puede contribuir a la fijación de CO_2.
Déficits de información	• No se dispone de información cuantitativa relativa al riesgo bajo el escenario actual y bajo escenarios futuros de cambio climático. • No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos identificados. • La información relativa al alcance espacial del riesgo y su impacto sobre la población y la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • Son escasos los inventarios de áreas que presentan mayor exposición y vulnerabilidad frente a peligros climáticos.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo de Riesgos complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito de *Ciudad, urbanismo y edificación* se basa en los resultados obtenidos en este análisis general de riesgos complejos. A continuación, se esbozan los grafos de cada riesgo clave (ver desde la **Figura 10** a la **Figura 13**).

El primero de los riesgos clave, el *Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos* (**Figura 10**), tiene grado de entrada 5 y grado de salida 11. Se ve afectado por riesgos de los sectores *Agua y recursos hídricos* (RC2), *Movilidad y transporte* (RC10), *Industria y Servicios* (RC11) y, en mayor medida, *Costas y medio marino* (RC6). El número de sectores a los que afecta es mayor, y son

concretamente *Salud humana, Ciudad, urbanismo y edificación, Patrimonio cultural, Energía, Movilidad y transporte, Industria y Servicios, Sistema financiero y actividad aseguradora, y Paz, seguridad y cohesión social*. A destacar especialmente los casos de *Transporte, Financiero,* y *Paz, seguridad y cohesión social,* ya que este riesgo clave afecta a dos riesgos clave de cada uno de esos sectores.

El *Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas)* (**Figura 11**) tiene grado de entrada 14 y grado de salida 13. Esto significa que se ve afectado por numerosos sectores al mismo tiempo que desencadena o exacerba riesgos en otros muchos sectores. Entre los sectores por los que se ve afectado este riesgo destacan *Agua y recursos hídricos* (RC1; 3 riesgos), *Energía* (RC9; 3 riesgos), *Movilidad y transporte* (RC10; 3 riesgos) e *Industria y servicios* (RC11; 2 riesgos). Por su parte, los sectores a los que más afecta son *Salud humana* (RC1; 2 riesgos), *Ciudad, urbanismo y edificación* (RC7; 2 riesgos), *Industria y servicios* (RC11; 3 riesgos) y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14; 2 riesgos).

El *Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas* (**Figura 12**) tiene grado de entrada 7 y grado de salida 3. Se ve afectado de manera especial por riesgos de los sectores *Ciudad, urbanismo y edificación* (RC7; 2 riesgos), *Energía* (RC9; 3 riesgos), y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14; 2 riesgos). Por contra, el número de sectores a los que afecta se limita solo a *Salud humana* (RC1; 2 riesgos) y *Turismo* (RC12; 1 riesgo).

Finalmente, el *Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas* (**Figura 13**) tiene grado de entrada 6 y grado de salida 6. Existe, por tanto, un equilibrio entre el número de riesgos por los que se ve afectado y los riesgos a los que afecta. Entre los primeros destacan los sectores *Agua y recursos hídricos* (RC2; 2 riesgos) y *Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas* (RC3; 3 riesgos). Por otra parte, la mitad de los riesgos afectados pertenecen al sector Salud humana (RC1; 3 riesgos).

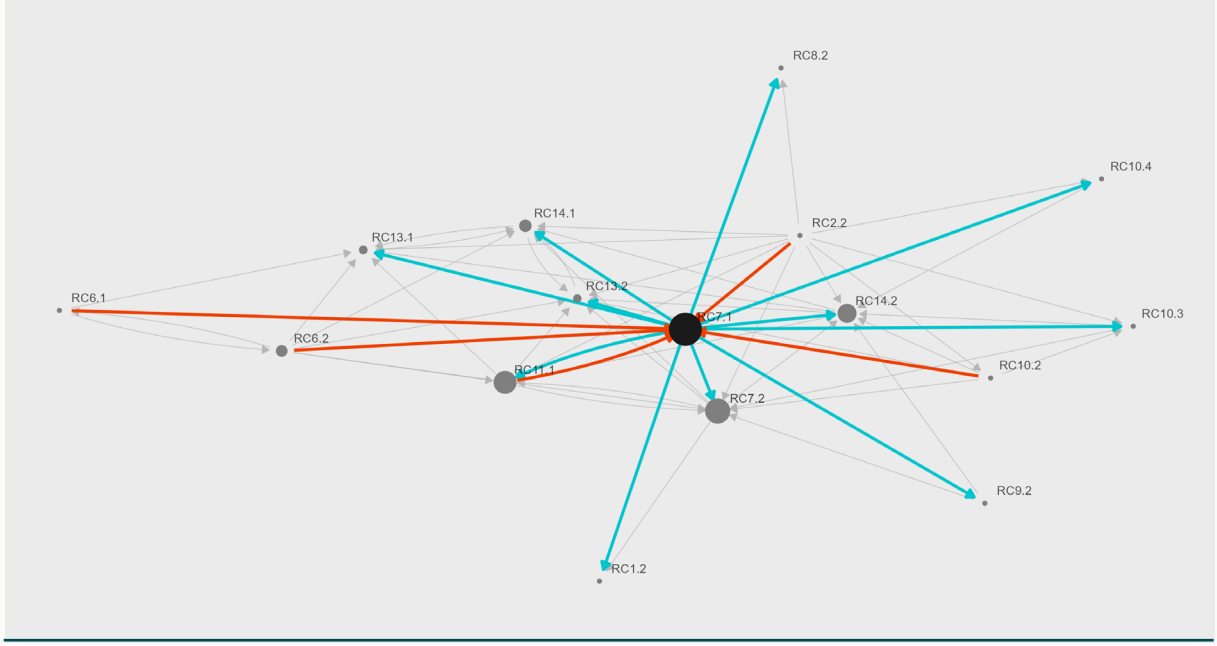


Figura 10. Grafo del Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos. Fuente: Capítulo de Riesgos complejos.

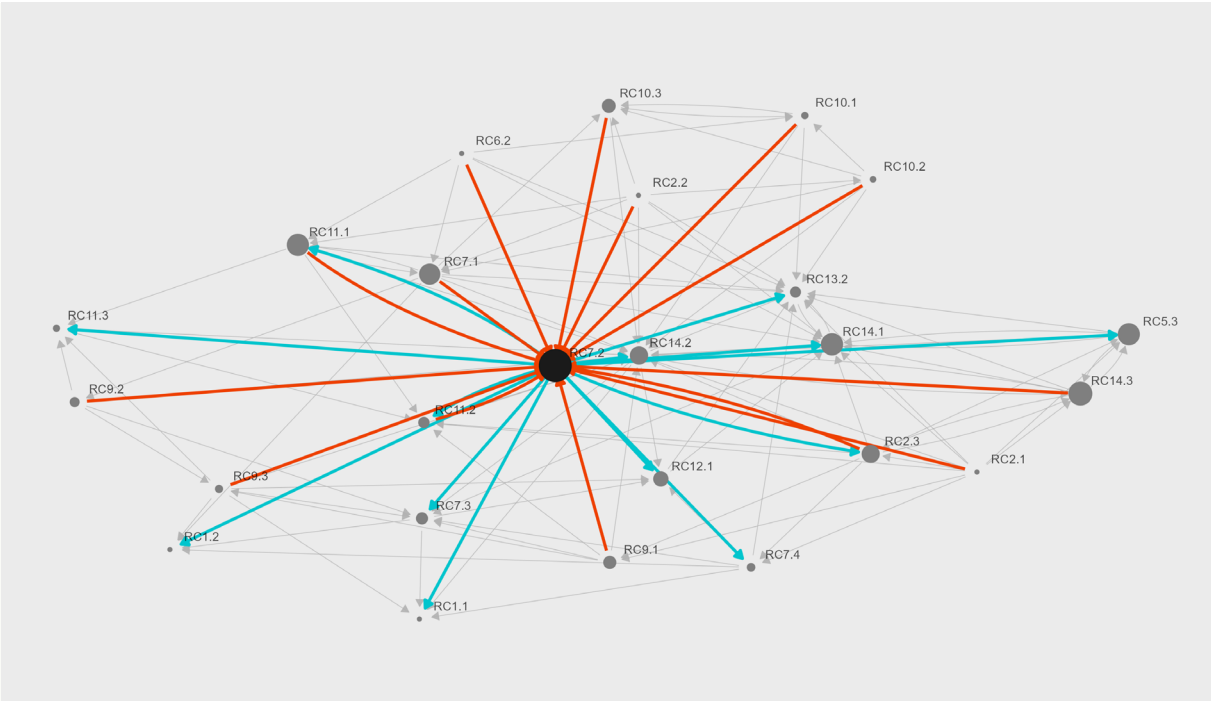


Figura 11. Grafo del Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas. Fuente: Capítulo de Riesgos complejos.

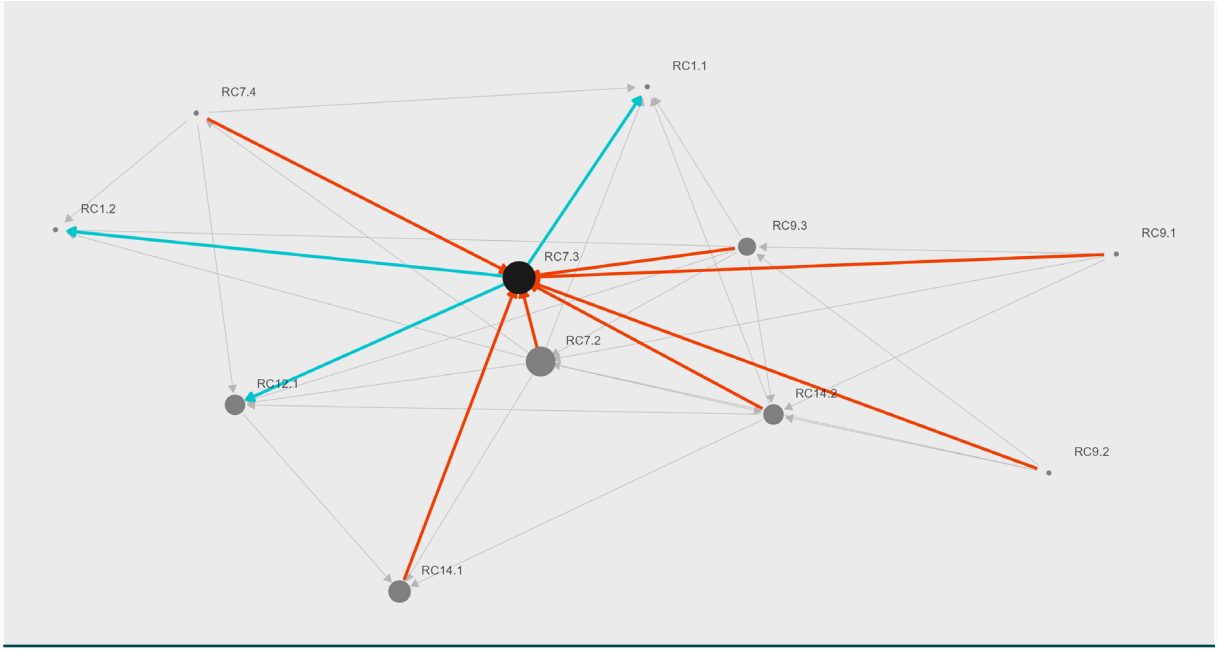


Figura 12. Grafo del Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas. Fuente: Capítulo de Riesgos complejos.

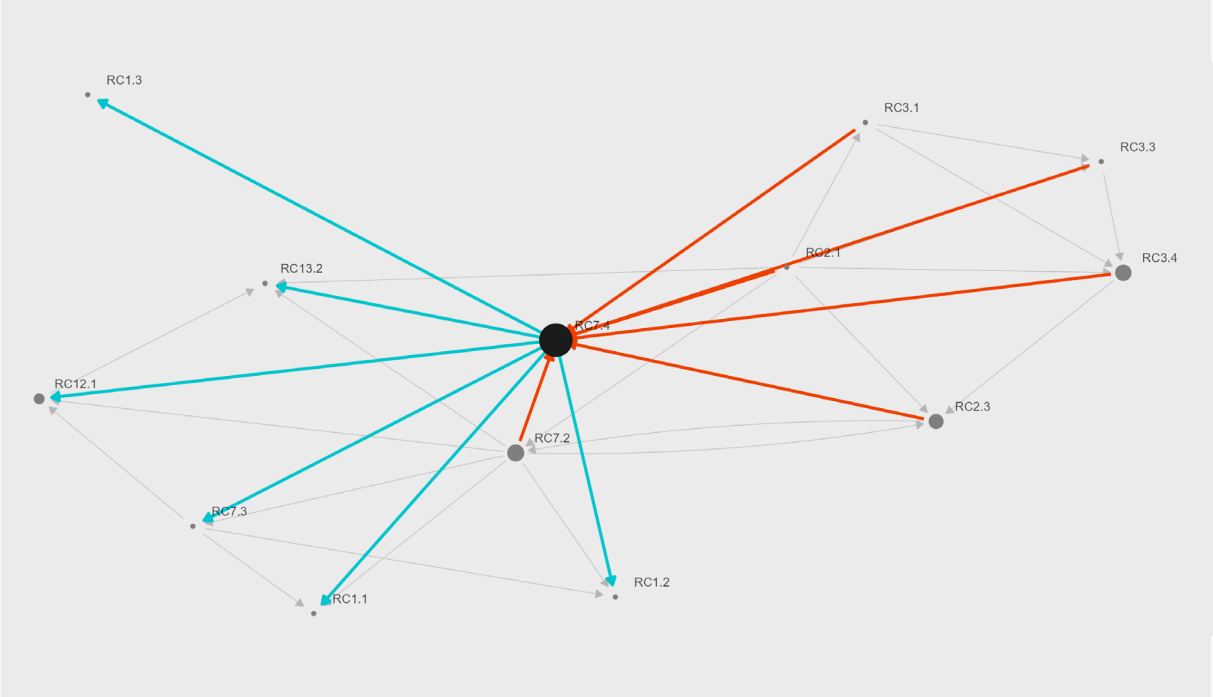


Figura 13. Grafo del Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas. Fuente: Capítulo de Riesgos complejos.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2. Clasificación de métricas según el análisis de riesgos complejos en el ámbito de Ciudad, urbanismo y edificación.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos.	Bajo ▼	Alto ▲	Medio −	Medio −
Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).	Alto ▲	Alto ▲	Alto ▲	Medio −
Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas.	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼
Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas.	Bajo ▼	Bajo ▼	Medio −	Bajo ▼

6. Caso de estudio

El caso de estudio *Proyecto LIFE IP Urban Klima 2050: Evaluación de riesgos climáticos en los municipios y comarcas de la Comunidad Autónoma del País Vasco* ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de *Ciudad, urbanismo y edificación*. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Proyecto LIFE IP Urban Klima 2050: Evaluación de riesgos climáticos en los municipios y comarcas de la Comunidad Autónoma del País Vasco

Objeto

- Actualizar y ampliar el análisis de los riesgos climáticos de los municipios del País Vasco llevado a cabo en 2017, con el fin de continuar proporcionando herramientas de utilidad para los municipios y comarcas del País Vasco y facilitar así que puedan abordar acciones desde la escala local.

Descripción:

- En el estudio se lleva a cabo la evaluación de riesgos climáticos que son importantes en el ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Estos riesgos corresponden principalmente a los sectores *Medio urbano y Salud humana*, aunque también se compilan otros disponibles en los sectores *Sector primario y Medio natural*.
- Para cada uno de los riesgos se ha desarrollado una

Ámbito Territorial:

- País Vasco.

Sector(es)/subsector:

- Ciudad, urbanismo y Edificación; Salud.

Entidad(es) del proyecto:

- Ihobe/Gobierno Vasco, Ente Vasco de la Energía (EVE) y Tecnalia.

Escala:

- Municipal (251 municipios).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

metodología de evaluación específica, alineada con el marco de riesgo recogido en el AR5 y AR6 del IPCC. Estas metodologías (MITECO, 2023c) en algunos casos siguen un enfoque semicuantitativo, basado en una serie de indicadores territorialmente explícitos que caracterizan los componentes del riesgo (peligro climático, exposición y vulnerabilidad). En otros casos se trata de enfoques híbridos que, junto a indicadores de vulnerabilidad, combinan metodologías basadas en modelos (UTCI, curvas de daños, etc.), utilizando como entrada datos de variables biofísicas o socioeconómicas y datos de proyecciones de cambio climático.

- Tanto los datos brutos como los resultados de las evaluaciones son compilados de manera específica para cada municipio del País Vasco a través de una herramienta interactiva y bases de datos SIG.
- Todos los datos utilizados proceden de fuentes públicas europeas (p.ej., Copernicus), nacionales (INE, mapas de peligrosidad por inundación fluvial...) o autonómicas (geoEuskadi, Eustat...), destacando entre estas últimas los correspondientes a los *Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco bajo las rutas de concentración de gases de efecto invernadero* (RCP 4.5 y RCP 8.5) (IHOBE, n.d.) (IHOBE, 2023).

Aspectos destacables:

- Desarrollo de metodologías específicas para determinados riesgos clave, incluyendo en algunas la valoración del impacto (muertes, económico, etc.) y la variabilidad en el tiempo de indicadores de tipo físico y socioeconómico.
- Incorporación de información relativa a grupos especialmente vulnerables (personas mayores, infancia, etc.).
- Incorporación de datos climáticos de alta resolución (1 km) en las evaluaciones de riesgos.
- Elaboración de herramientas específicas para los municipios y las comarcas.

Riesgo(s):

- Riesgo de estrés térmico en el espacio público; Riesgo de deterioro de confort y habitabilidad en edificaciones; Riesgo de daños en edificaciones por inundación fluvial; Riesgo de daños en edificaciones por inundación pluvial; Riesgo de daños en edificaciones por inundación costera; Riesgo de mortalidad asociada a las temperaturas; Riesgo de la población por inundación pluvial; Riesgo de la población por inundación costera, entre otros.

Enlaces:

- Acción C.8.3 del proyecto LIFE IP Urban Klima 2050: https://www.urbanklima2050.eu/es/generacion-de-herramientas-y-formacion-para-los-ayuntamientos/accion/24/
- Infraestructura de Datos Espaciales de Euskadi: https://www.geo.euskadi.eus/inicio/
- Pendiente de publicación de resultados.

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

Este capítulo expone los principales riesgos climáticos del ámbito de *Ciudad, urbanismo y edificación de España*, así como su interrelación con los riesgos de otros ámbitos, con el fin de poder orientar la adaptación en su planificación y gestión. Asimismo, identifica una serie de riesgos clave a partir de la información existente y hace una valoración de los mismos en clave de urgencia con el fin de identificar aquellos riesgos que requieren de una atención más inmediata en el siguiente ciclo de planificación.

Para establecer las limitaciones de los resultados de este capítulo es conveniente indicar ciertos condicionantes encontrados a lo largo del proceso, que están principalmente vinculados con la información disponible. A continuación, se describen de forma genérica las fuentes empleadas y, seguidamente, se visibilizan los condicionantes encontrados en relación con dichas fuentes.

Fuentes empleadas

El presente capítulo se basa, en primer lugar, en el *Diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*, elaborado en 2021, que sirve como uno de los principales puntos de partida. En particular, para el sector de las áreas urbanas, este informe identifica los impactos potenciales dentro del entorno urbano.

Además, se ha empleado información recopilada en la plataforma AdapteCCa, que proporciona datos sobre impactos, vulnerabilidad y estrategias de adaptación al cambio climático en las ciudades. Esta fuente se complementa con artículos científicos, mayoritariamente de ámbito internacional, así como con informes no académicos de instituciones públicas como el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) y el Instituto Nacional de Estadística (INE). También se han utilizado como referencia los Planes de Acción Climática desarrollados en el marco del Pacto de Alcaldías.

Otra fuente clave para establecer el marco metodológico del trabajo ha sido el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (2021), que constituye el pilar central en la evaluación de riesgos presentada en este capítulo. Asimismo, el diseño del marco de evaluación se ha enriquecido con otras fuentes relevantes, como la *Guía Técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el*

contexto de cambio climático de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022a), el diagnóstico de riesgos climáticos desarrollado para Europa por EEA, EUCRA, (2024), y el enfoque metodológico aplicado en la evaluación nacional de riesgos del Reino Unido.

Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del sector

Por lo general, la identificación de los riesgos relevantes se ha basado en estudios que identifican y valoran los impactos climáticos del sector, de forma cualitativa, a partir de impactos climáticos pasados y de las vulnerabilidades que muestra el sector (IPCC, 2021); (Sanz and Galán, 2020); (Martínez Juárez *et al.*, 2020); (EEA, 2021); entre otros).

La cuantificación de los impactos y riesgos específicos para las ciudades sigue siendo limitada. Aunque existe una gran cantidad de información, como la relacionada con inundaciones, ésta a menudo excede los límites urbanos, dificultando un análisis enfocado en el ámbito estrictamente urbano. Además, la cuantificación de impactos, pérdidas y daños es más completa para ciertos peligros climáticos, como las inundaciones fluviales y costeras o las temperaturas extremas, mientras que otras, como los deslizamientos de tierra, cuentan con muy pocos datos disponibles.

Por otro lado, debido a la interrelación entre múltiples sectores dentro del entorno urbano, delimitar los elementos expuestos y los peligros asociados a cada uno ha representado un desafío significativo en las fases iniciales de este trabajo. Inicialmente, se identificó un número elevado de riesgos relevantes. Sin embargo, tras un proceso de consolidación y fusión de varios de ellos, se logró reducir su número y sintetizarlos hasta llegar a los cinco principales que caracterizan al sector y que se abordan en este capítulo.

Por último, cabe indicar que los estudios utilizados para el análisis de los riesgos de este sector han sido elaborados para los escenarios denominados Sendas Representativas de Concentración o Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, en sus siglas en inglés) y no se ha encontrado prácticamente ningún estudio que atienda a los últimos escenarios planteados por el IPCC, que cubren el aspecto tanto ambiental como social, combinando los escenarios denominados Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP por sus siglas en inglés) con los RCP.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El análisis multicriterio (AMC) elaborado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por el (Field *et al.*, 2012), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, a las características

temporales del riesgo, a los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. No obstante, gran parte de los datos disponibles para tratar de evaluar dichos factores no están calculados específicamente para las ciudades, sino que se refieren a otras escalas territoriales, como cuencas hidrográficas, el ámbito nacional o el europeo. Esto ha dificultado, en más de una ocasión, asignar puntuaciones a los criterios con el nivel de precisión deseado. En este contexto, ha sido necesario complementar el análisis recurriendo al juicio de expertos. Hay que señalar igualmente que las puntuaciones otorgadas para realizar esta priorización han podido divergir en algunas situaciones, lo que ha requerido buscar cierto consenso entre las personas encargadas de dicha evaluación.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

La escasez de información disponible hasta el momento dificulta la caracterización detallada de los riesgos clave, especialmente en lo relativo a aspectos como los umbrales críticos de riesgo o la consideración del factor de género. Además, en la mayoría de los campos de las fichas no se ha utilizado información específica del sector (como se mencionó previamente, se realizan inferencias en torno a un peligro concreto que no se circunscribe necesariamente a ciudades). Por este motivo, la información recopilada en las fichas debe considerarse como una aproximación preliminar, siendo indispensable seguir generando nuevo conocimiento que permita profundizar en la comprensión de estas áreas.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

No se han encontrado análisis con una visión de conjunto de los diferentes riesgos e impactos climáticos que pueden afectar al medio urbano, especialmente de aquellos con alto potencial de convertirse en riesgos compuestos, lo que dificulta reflejar la realidad compleja del este ámbito.

En este sentido, existe una necesidad urgente de ampliar el conocimiento sobre las relaciones entre los diferentes riesgos que afectan a un mismo sector y sobre las interacciones entre riesgos de diferentes sectores. Esto permitirá una mejor comprensión de cómo los riesgos compuestos pueden afectar al ámbito urbano en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y efectivas.

8. Referencias

- Abadíe Muñoz, L.M., Smid, M., 2020. Climate change and heatwaves in the main coastal cities of the Basque Country. Ekonomiaz: Revista vasca de economía 164–189.
- AdapteCCa, n.d. Visor de Escenarios de Cambio Climático [WWW Document]. URL https://escenarios.adaptecca.es/ (accessed 6.11.25).
- AEMET, 2025a. Informe sobre el estado del clima de España 2024: resumen ejecutivo. Agencia Estatal de Meteorología. https://doi.org/10.31978/666-25-003-7_2024
- AEMET, 2025b. Plan Nacional de predicción y vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos. Meteoalerta.
- AEMET, 2022. Umbrales y Niveles de aviso.
- Alfieri, L., Dottori, F., Feyen, L., 2018. PESETA III – Task 7: River floods (No. JRC110308), EUR. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Amblar Francés, P., Casado Calle, M.J., Pastor Saavedra, A., Ramos Calzado, P., Rodríguez Camino, E., 2017. Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5. Agencia Estatal de Meteorología. https://doi.org/10.31978/014-17-010-8
- Angeon, V., Bates, S., 2015. Reviewing Composite Vulnerability and Resilience Indexes: A Sustainable Approach and Application. World Development 72, 140–162. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.02.011
- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R.F., Pegenaute, F., Herrmann, F.R., Robine, J.M., Basagaña, X., Tonne, C., Antó, J.M., Achebak, H., 2023. Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. Nat Med 29, 1857–1866. https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z
- Barriendos, M., Gil-Guirado, S., Pino, D., Tuset, J., Pérez-Morales, A., Alberola, A., Costa, J., Balasch, J.C., Castelltort, X., Mazón, J., Ruiz-Bellet, J.L., 2019. Climatic and social factors behind the Spanish Mediterranean flood event chronologies from documentary sources (14th–20th centuries). Global and Planetary Change 182, 102997. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.102997
- Betts, R.A., Brown, K., 2021. The Third UK ClimateChange Risk Assessment Technical Report.
- BOE, 2021. Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.
- Borunda, A., 2024. More than 200 million seniors face extreme heat risks in coming decades, study finds. NPR.
- Brás, T.A., Simoes, S.G., Amorim, F., Fortes, P., 2023. How much extreme weather events have affected European power generation in the past three decades? Renewable and Sustainable Energy Reviews 183, 113494. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113494
- Bravo, E.M., 2017. Elaboración de la guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios.
- Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., De Roo, A., Feyen, L., 2020. Global warming and drought impacts in the EU: JRC PESETA IV project : Task 7. Publications Office of the European Union.

- Carvalho, D., Pereira, S.C., Silva, R., Rocha, A., 2022. Aridity and desertification in the Mediterranean under EURO-CORDEX future climate change scenarios. Climatic Change 174, 1–24. https://doi.org/10.1007/s10584-022-03454-4
- CCOO Aragón, 2024. Riesgos laborales en trabajos al aire libre por altas temperaturas.
- CCS, 2023. Daños, exposición y siniestralidad del CCS por demarcaciones hidrográficas.
- CCS, 2020. Representación del riesgo de inundación en España a partir de los datos del seguro de riesgos extraordinarios. CCS.
- CCS, 2017. Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones. Madrid.
- CEDEX, 2021. Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España (2021, 2022, 2024).
- CEDEX, 2018. Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambios climáticos.
- CES (Ed.), 2019. La inmigración en España: efectos y oportunidades: sesión ordinaria del Pleno de 20 de marzo de 2019, Informe / Consejo Económico y Social. CES, Consejo Económico y Social, Madrid.
- CIVIO, n.d. Mapa de incendios forestales [WWW Document]. Civio. URL https://civio.es/medio-ambiente/mapa-de-incendios-forestales/ (accessed 6.11.25).
- Climate-ADAPT, n.d. Adaptation in EU policy sectors (Urban) [WWW Document]. URL https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/eu-adaptation-policy/sector-policies/urban (accessed 9.23.25).
- Climate-KIC, 2018. Annual damage to Europe's critical infrastructure may increase tenfold this century.
- Climática, 2025. Las pérdidas globales de las aseguradoras por eventos extremos suben un 36 % en la última década. URL https://climatica.coop/perdidas-globales-aseguradoras-suben-36/
- CMCC, 2021. G20 climate risk atlas. Impacts, policy and economics. CMCC. URL https://www.cmcc.it/g20 (accessed 9.24.25).
- CSCAE, 2022. Guía práctica para la gestión de ayudas a la rehabilitación energética de edificios.
- CTXT, 2024. La sequía pone a prueba las relaciones entre Portugal y España [WWW Document]. ctxt.es | Contexto y Acción. URL http://ctxt.es/es/20240901/Politica/47394/luzia-lambuca-daniel-borges-emerson-mendoza-ayala-gran-reportaje-aguas-hipanolusas-sequia-portugal-espana-agricultura.htm (accessed 6.12.25).
- D'Apice, P., Grzegorzewska, M., De Franceschi, F., Brons, M., Maes, J., De Dominicis, L., Pesaresi, E., Gianelle, C., Heidelk, T., Monfort, P., Walsh, J., European Commission, 2024. Ninth report on economic, social and territorial cohesion. Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://doi.org/10.2776/585966
- Diario de Rivas, 2024. Rivas es el municipio con el mayor porcentaje de vivienda eficiente de España. Diario de Rivas.
- Dottori, F., Mentaschi, L., Bianchi, A., Alfieri, L., Feyen, L., 2020. Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change. JRC Publications Repository. https://doi.org/10.2760/14505 (online)
- Economía Digital Comunidad Valenciana, 2024. Más de 4.000 empresas valencianas solicitan el cese de actividad por la DANA. URL https://www.economiadigital.es/valencia/economia/empresas-valencianas-cese-actividad-dana.html (accessed 6.11.25).

- EEA, 2024. European climate risk assessment (EUCRA). Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- EEA, 2021. EEA Environmental Statement 2020.
- EEA, 2019. Unequal exposure and unequal impacts. https://doi.org/10.2800/324183
- EFE, 2024. España tiene 25.000 kilómetros de zonas inundables, especialmente en cuencas Ebro y Júcar. EFE Noticias. URL https://efe.com/medio-ambiente/2024-03-01/zonas-inundables-viviendas-indemnizaciones-rios/ (accessed 7.21.25).
- Eklund, G., Sibilia, A., Salvi, A., Antofie, T.E., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z., Corbane, C., 2023. Towards a European wide vulnerability framework A flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. ResearchGate. https://doi.org/10.2760/353889
- El País, 2024. Las dos Españas del agua: la hidroeléctrica, en máximos pese a la dura sequía en el Mediterráneo. El País.
- El País, 2023a. Casi nueve millones de personas sufren ya restricciones de agua por la sequía en España. El País.
- El País, 2023b. Qué es el estrés térmico y cómo va a afectar a las 30 ciudades españolas más pobladas en los próximos años.
- Europa Press, 2024a. Unas 155.000 personas están sin suministro eléctrico en la provincia de Valencia.
- Europa Press, 2024b. La sequía de 2023 generó unas pérdidas económicas en España de 5.500 millones, según Aon.
- Expansión, 2024. Consorcio de Seguros, una solución exclusiva de España para la dana. EXPANSION.
- Fazio, H., 2018. Cambio climático, economía y desigualdad (los límites del crecimiento en el s. XXI). EUDEBA.
- FEMP, 2019. Guía Divulgativa de la Infraestructura Verde Municipal [WWW Document]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. URL https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/infraestructura-verde-municipal.html (accessed 9.28.25).
- Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Dahe, Q. (Eds.), 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1st ed. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/cbo9781139177245
- Fundación AON, 2023. Barómetro de las Catástrofes en España 2022.
- García-León, D., Matei, N.A., Batista e Silva, F., Barranco, R., Dosio, A., Ciscar, J.-C., 2025. European tourism demand in the face of climate change: asymmetric impacts, demand reallocation, and deseasonalisation strategies. Environ. Res. Lett. 20. https://doi.org/10.1088/1748-9326/adaa04
- Gil-Guirado, S., Pérez-Morales, A., Pino, D., Peña, J.C., Martínez, F.L., 2022. Flood impact on the Spanish Mediterranean coast since 1960 based on the prevailing synoptic patterns. Science of The Total Environment 807, 150777. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150777
- Gobierno de Andalucía, 2018. Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía.

- Gobierno de Canarias, 2021. Análisis de riesgos costeros ante el cambio climático en las Islas Canarias (PIMA ADAPTA COSTAS).
- Gobierno de España, 2025. Actualización de datos del Gobierno de España sobre la dana [WWW Document]. URL https://www.lamoncloa.gob.es/info-dana/paginas/2025/250825-datos-seguimiento-actuaciones-gobierno.aspx (accessed 9.24.25).
- Gobierno de España, 2024. España y Portugal sitúan las adversidades climáticas y el futuro de la PAC entre los principales retos de la nueva legislatura europea [WWW Document]. URL https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/agricultura/paginas/2024/231024-planas-cumbre-portugal.aspx (accessed 6.12.25).
- Gobierno de España, 2023. Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Componente 2.
- Gobierno Vasco, 2024. Ley 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático.
- Grupo Banco Mundial, 2018. Población urbana (porcentaje de la población total) [WWW Document]. URL https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS (accessed 9.25.25).
- Heras, F., 2023. ¿Cómo afrontar los riesgos que se derivan del cambio climático? Los conflictos en torno a las medidas de adaptación a través de la prensa española [WWW Document]. ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/publication/381879838_Como_afrontar_los_riesgos_que_se_derivan_del_cambio_climatico_Los_conflictos_en_torno_a_las_medidas_de_adaptacion_a_traves_de_la_prensa_espanola (accessed 6.11.25).
- HRW, 2023. España: Respuesta inadecuada a las olas de calor. URL https://www.hrw.org/es/news/2023/06/26/espana-respuesta-inadecuada-las-olas-de-calor (accessed 9.25.25).
- ICOG, 2021. El Colegio de Geólogos apuesta por devolver a la naturaleza el suelo mal urbanizado [WWW Document]. URL https://cgeologos.es/noticia/el-colegio-de-geologos-apuesta-por-devolver-a-la-naturaleza-el-suelo-mal-urbanizado (accessed 9.25.25).
- Idealista, 2025. ¿Cuánto cuesta instalar un aire acondicionado? [WWW Document]. URL https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2024/03/08/811168-cuanto-cuesta-instalar-un-aire-acondicionado-en-una-vivienda (accessed 9.25.25).
- IDMC, 2025. 2025 Global Report on Internal Displacement (GRID). Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC). https://doi.org/10.55363/IDMC.XTGW2833
- IEEE, 2021. Cambio climático y seguridad: riesgos físicos y geopolíticos.
- IHOBE, 2023. Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco bajo las rutas de concentración de gases de efecto invernadero: RCP 4,5 y 8,5 | Ihobe.
- IHOBE, 2022. Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa del País Vasco frente al cambio climático.
- IHOBE, n.d. Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos [WWW Document]. URL https://escenariosklima.ihobe.eus/home (accessed 9.25.25).
- INE, 2024a. Proyecciones de Población. Años 2024-2074. [WWW Document]. URL https://www.ine.es/dyngs/Prensa/PROP20242074.htm (accessed 9.24.25).
- INE, 2024b. Nota de Prensa: Encuesta de Condiciones de Vida (ECV). Módulo sobre condiciones de la vivienda y eficiencia energética. Año 2023. [WWW Document]. URL https://www.ine.es/dyngs/Prensa/m1ECV2023.htm (accessed 9.25.25).

- INE, n.d. Población por comunidades y ciudades autónomas y tamaño de los municipios [WWW Document]. INE. URL https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2915 (accessed 9.23.25).
- IPCC, 2022a. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- IPCC, 2022b. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC, 2021. Sixth Assessment Report. URL https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/ (accessed 9.24.25).
- ISGlobal, 2023. Más del 4 % de la mortalidad estival en las ciudades europeas es atribuible a las islas de calor urbanas [WWW Document]. URL https://www.isglobal.org/-/4-of-summer-mortality-is-attributable-to-urban-heat-islands (accessed 9.25.25).
- Iungman, T., Cirach, M., Marando, F., Barboza, E.P., Khomenko, S., Masselot, P., Quijal-Zamorano, M., Mueller, N., Gasparrini, A., Urquiza, J., Heris, M., Thondoo, M., Nieuwenhuijsen, M., 2023. Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities. The Lancet 401, 577–589. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5
- Jendritzky, G., de Dear, R., Havenith, G., 2012. UTCI--why another thermal index? Int J Biometeorol 56, 421–428. https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7
- Kim, S.E., Kim, Y., Hashizume, M., Honda, Y., Kazutaka, O., Hijioka, Y., Kim, H., 2023. Positive Association of Aggression with Ambient Temperature. Yale J Biol Med 96, 189–196. https://doi.org/10.59249/RXZX5728
- Kosanic, A., Petzold, J., Martín-López, B., Razanajatovo, M., 2022. An inclusive future: disabled populations in the context of climate and environmental change. Current Opinion in Environmental Sustainability 55, 101159. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101159
- La Vanguardia, 2023. La factura del agua subirá un 11,5 % en Barcelona y hasta un 15 % en el resto del área metropolitana. La Vanguardia.
- Lan, X., Cao, J., Lv, G., Zhou, L., 2021. Simulation method for indoor airflow based on the Industry Foundation Classes model. Journal of Building Engineering 39, 102251. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102251
- Levante, 2024. Estamos ante el peor evento catastrófico en medio siglo. Levante-EMV.
- Life, n.d. Adaptación climática de colegios y centros sociales – life my building is green [WWW Document]. URL https://life-mybuildingisgreen.eu/adaptacion-climatica-de-colegios-y-centros-sociales/ (accessed 9.25.25).
- Llasat, M.C., del Moral, A., Cortès, M., Rigo, T., 2021. Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region. Atmospheric Research 257, 105581. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105581
- March, H., Gorostiza, S., Saurí, D., 2023. Redrawing the hydrosocial cycle through treated wastewater reuse in the metropolitan area of Barcelona. Water Alternatives 16, 463–479.

- Marcos, M., Orfila, A., Tintoré, J., Gómez-Pujol, L., 2021. Análisis de riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears. SOCIB.
- Martínez Juárez, P., Foudi, S., Galarraga, I., Osés Eraso, N., Cerdá Tena, E., 2020. Cambio climático, riesgo de inundación y medidas de adaptación: retos en la valoración de daños y evaluación de medidas. Ekonomiaz: Revista vasca de economía 190–211.
- Mediero, L., Santillán, D., Garrote, L., Granados, A., 2014. Detection and attribution of trends in magnitude, frequency and timing of floods in Spain. Journal of Hydrology 517, 1072–1088. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.040
- Ministerio de Interior, n.d. Incendios forestales [WWW Document]. DGPCyE. URL https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-de-riesgos/incendios-forestales (accessed 7.21.25a).
- Ministerio de Interior, n.d. Lluvias intensas [WWW Document]. DGPCyE. URL https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-de-riesgos/meterologicos/lluvias-intensas (accessed 7.21.25b).
- Ministerio de Sanidad, n.d. Temperaturas umbrales de referencia de impacto en salud por altas temperaturas [WWW Document]. URL https://www.sanidad.gob.es/areas/sanidadAmbiental/riesgosAmbientales/calorExtremo/umbralesAltasTemperaturas.htm (accessed 9.25.25).
- Ministerio de Trabajo y Economía social, 2022. La situación de las mujeres en el mercado de trabajo 2022.
- MITECO, 2025. La reserva hídrica española se encuentra al 77,5 % de su capacidad [WWW Document]. URL https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2025/mayo/la-reserva-hidrica-espanola-se-encuentra-al-77-5---de-su-capacid.html (accessed 9.25.25).
- MITECO, 2024a. Informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España, MITECO. ed.
- MITECO, 2024b. Guía metodológica para la identificación de los elementos de Infraestructura Verde de España.
- MITECO, 2023a. La reserva hídrica española se encuentra al 37 % de su capacidad [WWW Document]. URL https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2023/09/la-reserva-hidrica-espanola-se-encuentra-al-37--de-su-capacidad.html (accessed 9.25.25).
- MITECO, 2023b. El 14,6 % del territorio está en emergencia por escasez de agua y el 27,4 %, en alerta [WWW Document]. URL https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2023/09/el-14-6--del-territorio-esta-en-emergencia-por-escasez-de-agua-y.html (accessed 9.25.25).
- MITECO, 2023c. Guía para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático. Subsecretaría Gabinete Técnico MITECO.
- MITECO, n.d. Número y Km. de subtramos de ARPSI por Comunidad Autónoma.
- MITECO, n.d. Gestión de los riesgos de inundación [WWW Document]. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. URL https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion.html (accessed 9.25.25b).
- MITECO, n.d. Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI).
- MITECO, n.d. Enlace a los Planes de gestión del riesgo de inundación [WWW Document]. URL https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/enlace_documentacion_pgri.html (accessed 9.25.25d).

- MITECO, n.d. Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración [WWW Document]. URL https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/infraestructura-verde/infverde_conectividad.html (accessed 9.25.25e).
- MIVAU, 2021. Proyectos del Ministerio de Agenda urbana y vivienda [WWW Document]. URL https://www.mivau.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/prtr/vivienda-y-agenda-urbana/componentes (accessed 9.25.25).
- MIVAU, n.d. Edificación Sostenible. Código Técnico de la Edificación (CTE) [WWW Document]. URL https://www.mivau.gob.es/arquitectura-edificacion/edificacion-sostenible (accessed 9.25.25).
- Naturklima, 2021. Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa 2021.
- Naumann, G., Russo, S., Formetta, G., Ibarreta, R.D., Forzieri, G., Girardello, M., Feyen, L., 2020. Global warming and human impacts of heat and cold extremes in the EU. https://doi.org/10.2760/47878
- OCU, n.d. Ahorrar aislando bien tu casa es posible [WWW Document]. www.ocu.org. URL https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/calefaccion/consejos/ahorro-aislar-vivienda (accessed 9.25.25).
- OECC, 2024. Guía para la elaboración de políticas municipales y planes locales de actuación antes las altas temperaturas.
- Pulido-Velazquez, D., Collados-Lara, A.-J., Alcalá, F.J., 2018. Assessing impacts of future potential climate change scenarios on aquifer recharge in continental Spain. Journal of Hydrology 567, 803–819. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.077
- PymeSeguros, 2025. El cambio climático pone en alerta al seguro. PymeSeguros 24–29.
- Reisinger, A., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., Mach, K.J., Mintenbeck, K., O'Neill, B., Pathak, M., Pedace, R., Pörtner, H.-O., Poloczanska, E., Corradi, M.R., Sillmann, J., van Aalst, M., Viner, D., Jones, R., Ruane, A.C., Ranasinghe, R., 2020. The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-Working Group discussion. IPCC.
- Sanz, M.J., Galán, E., 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Satorras, M., Borràs, M., Serrano, T., Domene, E., 2023. Percepcions i estratègies d'adaptació a la calor extrema de les llars vulnerables metropolitanes. Institut Metròpoli, Bellaterra.
- SegurosNews, 2025. El Consorcio eleva a 4.800 millones la estimación del coste total de la DANA. SegurosNews. URL https://segurosnews.com/news/el-consorcio-eleva-a-4-800-millones-la-estimacion-del-coste-total-de-la-dana (accessed 9.25.25).
- SEO, 2024. Planes de Acción para el Clima y la Energía Sostenible (PACES) [WWW Document]. URL https://observatorioclima.seo.org/planes-de-accion-para-el-clima-y-la-energia-sostenible-paces/ (accessed 9.25.25).
- SMC España, 2025. Cómo funcionan las alertas de Sanidad frente a las temperaturas extremas. SMC España.
- Statista, 2025. Agua: importaciones españolas por país de origen [WWW Document]. Statista. URL https://es.statista.com/estadisticas/521716/volumen-de-importacion-de-agua-a-espana-desde-el-mundo-por-pais/ (accessed 6.12.25).

- SunFields Europe, 2025. ¿Cómo la temperatura afecta a las placas solares? SunFields | Expertos en Energía Fotovoltaica para Ahorro Energético en España. URL https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/temperatura/ (accessed 9.28.25).
- Twigg, J., Cole, E., Kett, M., Simard, M., Smith, F., 2018. Disability and climate resilience: a literature review [WWW Document]. URL https://odi.org/en/publications/disability-and-climate-resilience-a-literature-review/ (accessed 9.25.25).
- UNAM Global, 2024. ¿Las altas temperaturas nos hacen violentos? [WWW Document]. URL https://unamglobal.unam.mx/global_tv/las-altas-temperaturas-nos-hacen-violentos/ (accessed 9.25.25).
- UNDRR, 2022a. Technical guidance on comprehensive risk assessment and planning in the context of climate change, UNDRR. ed.
- UNDRR, 2022b. Reducción del riesgo de desastres con perspectiva de género. Nota de orientación.
- UNICEF, 2023. Proteger a los niños y niñas del estrés térmico.
- UNICEF, 2021. La crisis climática es una crisis de los derechos de la infancia.
- UNICEF, 2017. El impacto del cambio climático en la infancia en España.
- Valdes-Abellan, J., Pardo, M. a., Tenza-Abril, A. j., 2017. Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. International Journal of Climatology 37, 1285–1296. https://doi.org/10.1002/joc.4984
- Van Ginkel, K.C.H., Dottori, F., Alfieri, L., Feyen, L., Koks, E.E., 2021. Flood risk assessment of the European road network. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 21, 1011–1027. https://doi.org/10.5194/nhess-21-1011-2021
- WMO, 2024. WMO Air Quality and Climate Bulletin. WMO 12.
- WWA, 2024. Extreme downpours increasing in southeastern Spain as fossil fuel emissions heat the climate – World Weather Attribution. URL https://www.worldweatherattribution.org/extreme-downpours-increasing-in-southern-spain-as-fossil-fuel-emissions-heat-the-climate/ (accessed 9.28.25).

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Patrimonio cultural

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad..

Autoría del capítulo

Autora: Aitziber Egusquiza Ortega (Tecnalia)

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda (Tecnalia)

Agradecimientos: Joaquín García Álvarez (Fundación Santa María la Real), Estibaliz Valtierra Lizarralde (Tecnalia)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Egusquiza, A. (2025). Patrimonio cultural. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 896

2. Introducción / pág. 898

3. Riesgos relevantes del sector de patrimonio cultural / pág. 902

4. Riesgos clave del sector de patrimonio cultural / pág. 918

4.1. RC8.1. Riesgo de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos históricos debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales / pág. 919

4.2. RC8.2 Riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios / pág. 928

4.3. RC8.3 Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera / pág. 937

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 947

6. Caso de estudio / pág. 951

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 953

8. Referencias / pág. 956

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial de Patrimonio Cultural** del proyecto de la **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos com-

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

puestos, los impactos en cascada, y otras cuestiones como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una introducción que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el marco conceptual de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el capítulo dedicado a los *Riesgos Complejos*. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el apartado de limitaciones y particularidades metodológicas recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la bibliografía reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el capítulo de *Metodología*.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

El patrimonio cultural es importante para las personas y las comunidades. Según el Eurobarómetro de 2018, el 84 % de los europeos considera que el patrimonio cultural no solo es importante a nivel individual, sino también un valor destacado para la Unión Europea en su conjunto. Nuestro patrimonio cultural es un elemento central de nuestras comunidades y economías, y una dimensión principal pero vulnerable de nuestra identidad común como europeos. Se ha demostrado que el patrimonio cultural contribuye al bienestar, la cohesión social, la identidad, la economía local, el atractivo territorial y la sostenibilidad ambiental (Voices of Culture, 2021) y afecta a una población mucho más amplia que la que reside directamente en el entorno del bien.

El último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022), menciona expresamente los impactos significativos del cambio climático en el patrimonio cultural, incluyendo aspectos tangibles e intangibles, y subraya la importancia de proteger el patrimonio cultural como parte de las estrategias de acción y adaptación climática. En 2020, el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS) proclamó una situación de Emergencia Climática y Ecológica, subrayando la urgencia de una acción inmediata, conjunta y coordinada por parte de todos los actores involucrados, con el fin de proteger el patrimonio cultural y natural frente a los impactos del cambio climático. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) también advierte sobre la pérdida de formas y expresiones distintivas de identidad, conocimiento cultural y ambiental acumulado, de habilidades relacionadas con recursos y medios de vida locales, de sistemas tradicionales de gobernanza y de capacidades de adaptación y resiliencia de las comunidades debido al cambio climático.

Además, el impacto del cambio climático en el patrimonio cultural no solo amenaza nuestros derechos culturales e identitarios, también tiene un impacto económico frecuentemente subestimado. El deterioro de sitios históricos y la pérdida de tradiciones pueden reducir también el atractivo turístico y afectar negativamente la economía local y nacional. Los resultados de la Cuenta Satélite de la Cultura en España (Ministerio de Cultura, 2024) indican que, en 2021, la aportación del conjunto de actividades económicas vinculadas al patrimonio, archivos y bibliotecas (que incluyen las actividades ligadas a la gestión y explotación de elementos que pertenecen al patrimonio cultural, tales como los monumentos históricos, sitios arqueológicos, patrimonio natural y museos, generadas como consecuencia de su apertura al uso público) supuso un 0,14 % del PIB. Pero es la relación con el turismo cultural lo que hace el impacto económico del patrimonio cultural más significativo. Según una encuesta realizada a nivel mundial por la World Tourism Organization (World Tourism Organization, 2018) sobre Sinergias entre Turismo y Cultura, se estima

que el turismo cultural representó el 39 % del total de llegadas de turismo internacional en 2017. Teniendo en cuenta que, según el INE (Instituto Nacional de Estadística, 2019) el turismo supuso un 11,6 % del PIB en España, se puede afirmar que la relevancia del patrimonio cultural en cuanto a su aportación a la economía nacional es importante.

Sin embargo, a pesar de la importancia del patrimonio cultural para el conjunto de la sociedad, el impacto del cambio climático en el patrimonio cultural es un área de investigación que presenta lagunas significativas a nivel nacional e internacional. En el libro blanco "Cultural Heritage and Climate Change: New Challenges and Perspectives for Research"-el documento que nació de la colaboración de dos Iniciativas de Programación Conjunta: 'Patrimonio Cultural y Cambio Global' (JPI CH-Joint Programming Initiative on Cultural Heritage and Global Change) y 'Conectando el Conocimiento Climático para Europa' ("Cultural Heritage and Climate Change: New challenges and perspectives for research", 2022)- se identifican varias brechas en ese conocimiento. Por ejemplo, se observa una prevalencia de estudios centrados en edificios y monumentos individuales, siendo pocos los estudios que abordan explícitamente tanto el patrimonio tangible como el intangible. Otro reto abierto es identificar las modalidades y velocidades de cambio causados por el cambio climático antropogénico. Actualmente también faltan investigaciones que evalúen de manera más holística los riesgos climáticos sobre los bienes del patrimonio cultural, integrando la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación de estos bienes.

Varias revisiones sistemáticas de la literatura confirman este diagnóstico y señalan varios desequilibrios del conocimiento existente, como el geográfico (Fatorić and Seekamp, 2017) (Orr *et al.,* 2021) o el relativo a los riesgos considerados (atención preferente en las inundaciones, descuidando otros peligros relevantes, como las olas de calor y frío) (Quesada-Ganuza *et al.,* 2021) (Nguyen and Baker, 2023).

Esta limitación sobre el conocimiento existente se agrava cuando consideramos el ámbito español. Por ejemplo, en el informe "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" (Sanz y Galán, 2020), no se dedica un capítulo específico al patrimonio histórico y la mención al mismo, realizada en el capítulo sobre el sector de turismo, confirma que "no existen estudios en nuestro país" sobre el impacto del cambio climático en el patrimonio cultural. A pesar de esto, el informe infiere, basándose en estudios internacionales, que las inundaciones y los cambios en las precipitaciones (ya sea humedad o sequedad) podrían afectar a los yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos históricos, entre otros, en el territorio español. Asimismo, en la lista preliminar de riesgos individuales identificados en dicho trabajo (Tabla 11.1., pg. 181), se afirma que el riesgo, considerado urgente, en las viviendas, infraestructuras y servicios en las zonas urbanas, asociados especialmente a la subida del nivel del mar y los eventos extremos costeros también pueden afectar a elementos del patrimonio histórico y cultural ubicado en el litoral (corresponde al riesgo N.º 42 del sector costas).

En la Octava Comunicación Nacional de España a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022) ya se afirma que el cambio climático afecta al patrimonio cultural como uno más de los múltiples aspectos que integran los sistemas sociales. Esta vez, se menciona explícitamente que ya son visibles algunos de los efectos del cambio climático sobre el patrimonio cultural, y, entre ellos, se destaca que: los bienes inmuebles ubicados cerca de la costa se ven afectados por la subida del nivel del mar, que las fluctuaciones del nivel freático afectan la estabilidad estructural de edificios con interés histórico-cultural, que el aumento de la temperatura, sumado a los efectos de la contaminación atmosférica, provoca un incremento en los procesos de erosión física, química y mecánica, y, finalmente, que no se pueden olvidar las alteraciones en los paisajes culturales, en las prácticas, conocimientos y rituales asociados a las actividades económicas agrícolas y modos de vida tradicionales provocados por el aumento de la desertificación, inundaciones y eventos extremos.

Si los estudios cualitativos de ámbito nacional son escasos, todavía es más limitada la literatura que aborda la problemática con enfoque cuantitativo. Puede servir como ejemplo el informe de la Fundación ENT "Adaptación al Cambio Climático de Zonas Urbanas Costeras con Elevada Densidad de Población e Interés Turístico y Cultural en España" (Campos Rodrigues y Puig Ventosa, 2023) que estudia, de forma cuantitativa, la exposición de los bienes de interés cultural (BIC) al riesgo de inundación costera en Las Palmas de Gran Canaria. Los riesgos totales proyectados sobre el patrimonio cultural, para los años 2050 y 2100, incluyen el efecto acumulado de las inundaciones permanentes (por Subida del Nivel Medio del Mar) y episódicas (por temporales marítimos), junto con el efecto de la erosión estructural producida. También en Canarias se ha estudiado la vulnerabilidad de dos sitios históricos a la subida del mar ("Climate change and adaptation on cultural heritage in the face of sea level rise. A perspective from insularity", 2020). Finalmente, se han llevado a cabo evaluaciones de riesgo y vulnerabilidad de fortificaciones (Jaramillo Morilla *et al.,* 2022), destacando los trabajos en lugares como La Habana (Cuba) y Cádiz (Rodríguez-Rosales *et al.,* 2021).

La falta de investigación acerca del impacto climático sobre el patrimonio intangible es todavía más significativa, tanto a nivel europeo como en el ámbito español. Una notable excepción es el proyecto PACTO (Carrera Díaz *et al.,* 2024) que tiene como objetivo principal "*identificar, valorar y transmitir los conocimientos, usos y prácticas tradicionales que se desarrollan en los paisajes culturales andaluces, especialmente del medio rural, que comparten valores afines a la sostenibilidad ambiental y son útiles para la adaptación al cambio climático o en la lucha contra sus efectos negativos*". También hay que destacar, el estudio de la Universitat Rovira i Virgili (URV) de Tarragona sobre el impacto de la subida de temperaturas en la tradicional festividad catalana de los "Castells", que pone de manifiesto la manera en que el cambio climático trasciende los efectos ambientales y permea las esferas culturales y sociales. La necesidad de alterar las prácticas tradicionales debido al aumento de temperaturas inducido por el clima ejemplifica las consecuencias

de gran alcance del calentamiento global e ilustra la capacidad de este para transformar normas culturales y prácticas sociales de larga data (Pozo *et al.,* 2024). Los hallazgos iniciales de este innovador estudio indican que incluso cambios leves en los parámetros climáticos pueden influir en el rendimiento y las condiciones de seguridad de los "castellers", destacando la vulnerabilidad de las prácticas culturales al cambio climático y estableciendo un precedente para investigaciones similares en otras áreas del patrimonio intangible (Pozo *et al.,* 2024).

Teniendo en cuenta todo ello, el presente capítulo elabora el diagnóstico de los impactos y riesgos derivados del cambio climático en el sector del patrimonio cultural de nuestro país, abarcando tanto el patrimonio tangible como intangible.

3. Riesgos relevantes del sector de patrimonio cultural

Los riesgos relevantes del sector patrimonio cultural son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas en el sector y que pueden llegar a afectar negativamente sus valores, su funcionalidad y su sostenibilidad. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad que caracteriza el sector, y pueden cambiar con el tiempo y el espacio debido a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas (Reisinger *et al.,* 2020).

De acuerdo con la literatura científica a nivel global (Ballard *et al.,* 2022), el sector se encuentra expuesto a una alta diversidad de **peligros climáticos:** el aumento del nivel del mar; inundaciones; erosión costera; cambios en las temperaturas del aire y del mar; cambios en la humedad; eventos meteorológicos extremos, como huracanes, tormentas y sequías; desgaste; y cambios en las condiciones del suelo y los sedimentos (Brimblecombe *et al.,* 2011; Fenggui *et al.,* 2010; Gomez-Heras and McCabe, 2015; Leissner *et al.,* 2015; Reeder-Myers, 2015; Ronco *et al.,* 2014) En la Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático, AdapteCCa, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, actualmente se encuentran pocas referencias nacionales para el sector del patrimonio cultural. Una de estas referencias es el informe de ICOMOS (ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group. 2019), donde se resumen los principales factores climáticos y sus principales impactos en el patrimonio cultural:

- **Subida de Temperatura:** El aumento de la temperatura puede acelerar la erosión y degradación de los materiales constructivos de los bienes patrimoniales.

- **Subida del Nivel del Mar:** El incremento del nivel del mar afecta a los bienes inmuebles ubicados en zonas costeras.

- **Contaminación Atmosférica y Cambio Climático:** La combinación de contaminación atmosférica y cambio climático intensifica los procesos de erosión física, química y mecánica.

- **Precipitaciones y Humedad:** Cambios en las precipitaciones y niveles de humedad pueden afectar la estabilidad estructural y la conservación de los bienes patrimoniales.

Tabla 1. Mecanismos de Impacto en el Patrimonio cultural según ICOMOS (Traducción propia basada en (ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group. 2019)).

Impulsor Climático	Mecanismo de Impacto
Aumento de Temperatura	• Influencias en los riesgos relacionados con el calor. • Olas de calor y días de calor extremo. • Efecto isla de calor urbana. • Riesgo de desestabilización permanente de edificios, cimientos e infraestructuras. • En climas fríos y húmedos: alto riesgo de daño químico a materiales. • En climas cálidos y secos: alto riesgo de degradación térmica. • Aumento del deterioro biológico por crecimiento acelerado de moho, hongos e insectos.
Aumento del Nivel del Mar	• Inundaciones permanentes que afectan a paisajes costeros, estructuras y sitios arqueológicos. • Erosión costera. • Intrusión salina en aguas subterráneas utilizadas para mantenimiento o consumo humano.
Cambio Climático (temperatura, precipitación, humedad) + contaminación atmosférica y/o sedimentación	• Degradación o corrosión: carbonatación, corrosión por sales solubles. • Daño químico a materiales orgánicos (como la madera). • Alteraciones en las condiciones climáticas estacionales (humedad).
Cambio Climático (temperatura y humedad) + contaminación atmosférica	• Biodegradación por líquenes. • Daño a la madera. • Degradación química y biológica combinada en colecciones y archivos.
Precipitación y Humedad	• Bio-infestaciones químicas debido a alta humedad relativa dentro o fuera de edificios históricos. • Efectos sobre pinturas murales.

Tabla 2. Principales Impactos Climáticos en el Patrimonio cultural según ICOMOS
(Traducción propia basada en: ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group, 2019).

Impactos Climáticos	Ejemplos de efectos esperados sobre el patrimonio
Aumento del nivel del mar	El aumento del nivel del mar provoca inundaciones costeras, marejadas ciclónicas y erosión costera. El desplazamiento de la población conlleva la pérdida de comunidades culturales vivas. La erosión puede dañar edificios y reducir el acceso a materiales para artesanías y prácticas tradicionales. También puede provocar salinización de suelos y aguas subterráneas, dañando depósitos arqueológicos. El aumento de la humedad favorece el ataque biológico a colecciones patrimoniales almacenadas o en exhibición.
Inundaciones costeras	Las inundaciones, agravadas por el aumento del nivel del mar, pueden anegar permanentemente algunas zonas y causar inundaciones temporales más frecuentes en otras. Esto daña edificios históricos, sitios arqueológicos, paisajes culturales y espacios abiertos.
Erosión costera	La erosión costera se ve intensificada por el aumento del nivel del mar y tormentas más intensas o frecuentes. Los daños incluyen la pérdida de edificios y sitios históricos, paisajes culturales y sitios arqueológicos.
Pérdida de hielo marino	Las especies dependientes del hielo pueden perder su hábitat y ver reducidas sus poblaciones, lo que afecta a los pueblos indígenas que dependen de ellas para alimentación o materiales para artesanías tradicionales.
Deshielo glaciar	El deshielo de glaciares puede liberar contaminantes en los ecosistemas; la pérdida de glaciares reduce las fuentes de agua para ríos, afectando a aldeas y comunidades rurales.
Descongelación del permafrost, derretimiento de parches de hielo y calentamiento del suelo	El permafrost en calentamiento provoca inestabilidad del terreno, lo que puede causar el colapso o hundimiento de edificios. El derretimiento de parches de hielo expone artefactos orgánicos que se degradan rápidamente si no se recuperan a tiempo. El calentamiento del suelo incrementa la actividad microbiana, acelerando la degradación de materiales orgánicos enterrados como estructuras o artefactos de madera.
Cambios en los ciclos de agua dulce	Los cambios en los regímenes fluviales amenazan infraestructuras fluviales como puentes o presas. Los cambios en los niveles de los lagos amenazan asentamientos ribereños, incluidos sitios Patrimonio Mundial como Skellig Michael (Irlanda).
Aumento de la temperatura oceánica	Las aguas más cálidas incrementan el bioincrustamiento marino, que daña bienes patrimoniales submarinos, como los pecios. También favorecen la migración de especies invasoras que dañan el patrimonio sumergido al perforar la madera, etc. El blanqueamiento de corales amenaza paisajes culturales submarinos asociados a arrecifes.
Aumento de la intensidad y/o frecuencia de tormentas, lluvias extremas, humedad, fuerza del viento u olas, y sequías	Las tormentas más intensas causan daños físicos a edificios históricos por cargas de viento más rápidas. También aumentan el riesgo de inundaciones por lluvias intensas que saturan los sistemas de drenaje. Las lluvias extremas incrementan el riesgo de deslizamientos de tierra que amenazan edificios históricos en laderas, como Machu Picchu (Perú).

Asimismo, el informe de la UNESCO, (UNESCO World Heritage Centre, 2007), enfocado en los Sitios del Patrimonio Mundial de la UNESCO (natural y cultural), menciona los siguientes impactos en el patrimonio mundial cultural:

- La evidencia arqueológica se conserva en el suelo gracias a un equilibrio entre los procesos hidrológicos, químicos y biológicos. Sin embargo, cambios en estos parámetros pueden reducir la supervivencia de materiales sensibles.
- El aumento de la humedad puede movilizar sal y causar cristalización dañina en superficies decoradas.
- La madera y otros materiales orgánicos pueden sufrir infestaciones biológicas, como plagas que migran a nuevas áreas. Las inundaciones pueden dañar materiales de construcción y promover el crecimiento de moho.
- El aumento de tormentas y vientos puede causar daños estructurales.
- El patrimonio móvil está en riesgo debido a la mayor humedad, temperaturas y niveles de radiación UV.
- La desertificación, la erosión y la salinidad amenazan el patrimonio cultural en áreas desérticas.
- También se observan alteraciones en los paisajes culturales y en las prácticas, conocimientos y rituales asociados a las actividades económicas agrícolas y modos de vida tradicionales, debido al aumento de la desertificación, las inundaciones y los eventos extremos.

Tabla 3: Impactos en el patrimonio mundial cultural según UNESCO (Traducción propia de: UNESCO World Heritage Centre, 2007).

Indicador climático	Riesgo de cambio climático	Impactos físicos, sociales y culturales en el patrimonio cultural
Cambio de humedad atmosférica	• Inundaciones (mar, río) • Lluvias intensas • Cambios en los niveles de agua subterránea • Cambios en la química del suelo • Aumento de la humedad • Aumento del tiempo de humedad • Cloruros marinos	• Cambios en el pH que afectan la evidencia arqueológica enterrada • Pérdida de integridad estructural por agrietamiento y levantamiento debido al movimiento del sedimento • Daños a materiales orgánicos por condiciones anaeróbicas/anóxicas prolongadas o intermitentes
Cambio de temperatura	• Cambios diurnos, estacionales y eventos extremos como olas de calor o nieve intensa • Cambios en el deshielo estacional • Aumento de precipitaciones húmedas	• Deterioro físico por estrés térmico • Daños a ladrillos cocidos, piedra y cerámica por ciclos de humedad y congelación • Deterioro bioquímico
Aumento del nivel del mar	• Inundaciones costeras • Intrusión salina marina	• Erosión costera • Inundación permanente o temporal con agua salina que afecta sitios arqueológicos históricos o estructuras arquitectónicas
Viento	• Lluvia impulsada por el viento • Arena transportada por el viento • Tormentas impulsadas por el viento • Cambios direccionales del viento	• Erosión física directa por abrasión eólica sobre superficies expuestas • Daños estructurales por erosión eólica • Pérdida física directa por tormentas severas
Desertificación	• Sequía • Calor extremo • Caída del nivel freático	• Erosión • Meteorización salina • Abandono humano • Colapso humano

En España, la diversidad climática y geográfica hace que numerosos sitios patrimoniales sean especialmente susceptibles a estos impactos, lo que amenaza tanto su integridad física como los valores culturales y tradicionales que representan.

Para abordar el análisis de los riesgos que afectan al sector, se ha establecido una clasificación basada en los principales elementos que lo integran. En este sentido, se ha optado por dividir el sector en dos categorías o elementos, que, según su ubicación geográfica, se pueden ver expuestos a uno o varios peligros climáticos: **"patrimonio tangible" y "patrimonio intangible"**.

En cuanto al análisis de la **vulnerabilidad**, si se analiza desde un punto de vista holístico, la aproximación definida por Eklund *et al.,* 2023, se puede traducir a estas cinco dimensiones:

- Dimensión **físico-tecnológica:** Se refiere a la susceptibilidad estructural de los bienes patrimoniales, considerando factores como la antigüedad de los edificios, la calidad de los materiales originales, la frecuencia y calidad del mantenimiento, y la capacidad técnica disponible para su conservación. Los monumentos históricos, por ejemplo, pueden ser especialmente frágiles ante fenómenos como la humedad, la erosión o los movimientos del terreno.

- Dimensión **económico-institucional:** Abarca tanto la situación económica de las comunidades que acogen los bienes patrimoniales como la capacidad financiera de las administraciones públicas para implementar medidas de protección y restauración. La falta de recursos puede limitar la respuesta ante emergencias o impedir la planificación de intervenciones preventivas.

- Dimensión **social:** Incluye factores como el nivel de conocimiento de la población sobre el valor del patrimonio, la participación ciudadana en su protección, la seguridad jurídica sobre la tenencia de los bienes y las condiciones laborales de quienes trabajan en su conservación. La falta de conciencia o de formación puede aumentar el riesgo de deterioro o pérdida.

- Dimensión **ambiental:** Hace referencia a la exposición del patrimonio a condiciones ambientales adversas, como la escasez de agua, la desertificación, la contaminación o la falta de áreas verdes que amortigüen los efectos del clima. También se consideran aquí las malas prácticas de gestión del entorno natural que pueden agravar los riesgos, como el uso inadecuado del suelo o la ausencia de medidas de protección frente a incendios.

- Dimensión **gobernanza:** Engloba la capacidad de los gobiernos para diseñar e implementar políticas eficaces de adaptación y gestión del riesgo, así como la percepción social sobre la eficacia de dichas políticas. La falta de planificación, la inestabilidad institucional o decisiones políticas desfavorables (como recortes presupuestarios o aumentos de impuestos que afecten a la conservación) pueden incrementar la vulnerabilidad del patrimonio.

Al mismo tiempo, otros **factores de riesgo subyacentes** agravan la exposición y vulnerabilidad, que presenta el sector ante los peligros previamente descritos. De acuerdo con el grupo de trabajo *Task Force on Climate-related Financial Disclosures* (TCFD, por sus siglas en inglés), existe una serie de riesgos derivados de la transición ("Guidance on Risk Management Integration and Disclosure", 2020) que pueden afectar al sector y que han sido adaptados para este análisis:

- **Riesgos tecnológicos:** Se refieren a los desafíos que pueden surgir con la incorporación de nuevas tecnologías en la conservación del patrimonio. La digitalización, los sistemas de monitoreo ambiental o las técnicas avanzadas de restauración pueden requerir la sustitución de métodos tradicionales, lo que implica inversiones significativas. Además, la falta de compatibilidad entre tecnologías nuevas y estructuras históricas puede generar tensiones o incluso daños si no se aplican con criterios adecuados.

- **Riesgos reputacionales o de percepción:** Están vinculados a la percepción pública sobre cómo las instituciones responsables gestionan el patrimonio cultural frente a los retos climáticos. Una gestión percibida como ineficaz, poco transparente o desconectada de las preocupaciones ambientales puede deteriorar la imagen de las administraciones, generar presión social o incluso derivar en litigios por parte de colectivos ciudadanos o entidades defensoras del patrimonio y del medio ambiente.

- **Riesgos políticos:** Se relacionan con cambios en las políticas públicas, normativas o marcos regulatorios que afectan a la gestión del patrimonio. Por ejemplo, nuevas exigencias europeas en materia de adaptación climática pueden suponer un reto para municipios con recursos limitados, al requerir inversiones adicionales o ajustes técnicos complejos. Asimismo, la eliminación de subvenciones o incentivos puede dificultar la implementación de medidas de protección y adaptación.

Además, existe otro tipo de riesgos subyacentes, derivados de **eventos disruptivos** también denominados "cisne negro", que son sucesos completamente atípicos e inesperados (p. ej. guerras, pandemias y eventos climáticos inesperados por su magnitud), los cuales se encuentran fuera del ámbito de lo previsible, de las expectativas habituales, y cuyo impacto tiene una gran repercusión socioeconómica.

Es importante mencionar que, en el sector del patrimonio cultural en particular, existe una creciente preocupación por el impacto de la transición energética y el despliegue de energías renovables sobre los paisajes culturales, tal como han señalado (Baraja Rodríguez *et al.,* 2024), quienes destacan la necesidad de una planificación territorial sensible al paisaje, y (Martínez Durán and Villaverde Rey, 2021), que advierten sobre la amenaza que representan los macroproyectos energéticos para los paisajes rurales con valor patrimonial. Este aspecto, que emerge como uno de los mayores desafíos para el sector de la gestión del patrimonio cultural, se vincula tanto a los riesgos de transición (según la TCFD) como a las dimensiones político-administrativa y ambiental.

La integración de estos impactos en el análisis permite identificar puntos críticos donde la gestión cultural y la sostenibilidad ambiental deben converger, evitando que la lucha contra el cambio climático se convierta en un nuevo riesgo para el patrimonio. Este factor subyacente requiere un análisis integral, ya que no solo afecta a la integridad física de los paisajes, sino también a la capacidad institucional para equilibrar objetivos ambientales y culturales. Su inclusión en este marco permite contextualizar cómo las decisiones de transición energética pueden transformar paisajes culturales en "bienes en conflicto", donde la preservación tradicional entra en conflicto con exigencias modernas de sostenibilidad.

La **Figura 1** representa de forma esquemática todos los componentes previamente descritos: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector ante dichos peligros, los diferentes factores de vulnerabilidad y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la *Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático*, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022a). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de los distintos componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector.

Patrimonio cultural

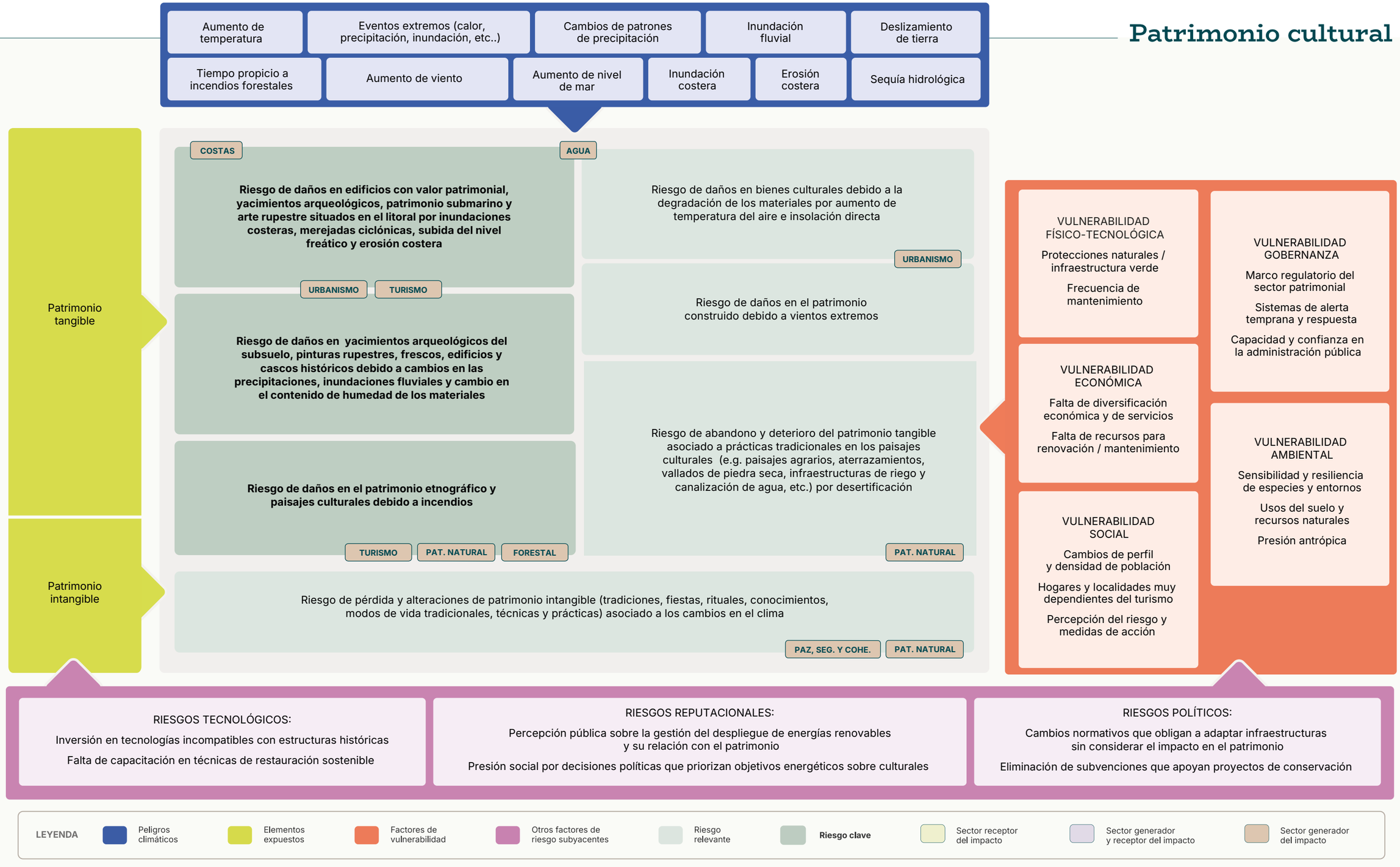


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector de Patrimonio cultural. Fuente: basado en UNDRR (2022)

Los riesgos relevantes identificados para el sector se resumen en la Tabla 1.

El primero de ellos es el **riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del mar y erosión costera (RR.8.1).** En España, hay cerca de 30.400 Bienes de Interés Cultural (BIC), de los cuales muchos de ellos en zonas costeras, que están en riesgo debido a la subida del nivel del mar, los fenómenos costeros y la erosión costera. Según el (Gobierno de Canarias, 2021), para 2050, bajo un escenario de cambio climático medio, se estima que 44.5 hectáreas de bienes culturales estarán afectadas, aumentando a 109.2 hectáreas bajo condiciones extremas. Las comunidades que dependen del turismo cultural y patrimonial pueden verse desproporcionadamente afectadas, y la destrucción de estos sitios puede llevar a una pérdida de ingresos y empleo, afectando negativamente la economía local y el bienestar de sus habitantes. La subida del nivel del mar también puede causar daños significativos a elementos del patrimonio histórico ubicados en el litoral, resultando en pérdidas irreversibles de su valor cultural y arquitectónico.

El segundo es el **riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales (RR.8.2)**. Este riesgo está estrechamente vinculado al *Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales (RC2.2)* del capítulo 2 - *Agua y recursos hídricos*. Tal como se menciona en ese capítulo, cualquier inundación importante implica numerosos riesgos en cascada en numerosos ámbitos, incluido el sector del patrimonio cultural. Existe patrimonio cultural susceptible de ser afectado por este riesgo en todos los territorios de España. Por ejemplo, la revisión de los planes de gestión del riesgo de inundación identifica 807 puntos de especial importancia relacionados con el patrimonio histórico y localizados en la zona inundable de mayor riesgo. Según datos del MITECO, en las grandes cuencas fluviales intercomunitarias, 2.73 millones de residentes en España habitan zonas con probabilidad de inundarse una vez cada 500 años, de los cuales cerca de medio millón vive en áreas que se inundan de media una vez cada diez años. Si se añaden otras cuencas internas, la cifra podría alcanzar los 5 millones de personas en riesgo, lo que representa aproximadamente el 10 % de la población española. La cifra también da idea de la población expuesta a perder elementos del patrimonio cultural de su comunidad debido a las inundaciones. El daño a yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino, pinturas rupestres, frescos y edificios históricos puede resultar en una pérdida irreparable de patrimonio cultural. Esto no solo afecta a las generaciones actuales, sino también a las futuras, que no podrán disfrutar ni aprender de estos recursos históricos.

Cada año se producen en España una media de 10 episodios graves de inundación. El impacto económico de la pérdida del patrimonio por esta causa no se debe medir únicamente a través del

daño material ocasionado y de las indemnizaciones correspondientes. Tal como se ha mencionado, el patrimonio cultural a menudo atrae turismo, lo que puede ser una fuente importante de ingresos para una comunidad. La destrucción o degradación de sitios históricos debido a inundaciones puede reducir el atractivo turístico de la zona y, por ende, perjudicar negativamente a la economía local.

Más allá del riesgo de inundación, las precipitaciones extremas y los cambios en la humedad pueden dañar el patrimonio histórico de diversas maneras. Los movimientos del terreno, como deslizamientos, subsidencias, colapsos, flujos y erosión, junto con fenómenos como la sufusión (circulación de agua subsuperficial que genera cavidades), la karstificación (disolución de rocas solubles), el hinchamiento de arcillas expansivas, la formación de arenas movedizas (que actúan como fluidos durante inundaciones) y la sobreelevación de la capa freática, representan peligros que dañan estructuras patrimoniales. Estos procesos pueden provocar asentamientos diferenciales, hundimientos o anegaciones, afectando la estabilidad y el estado original de los elementos históricos. La destrucción física de estos materiales, a menudo irreversible, compromete la autenticidad y el valor cultural, ya que cualquier restauración o reconstrucción no puede replicar fielmente los materiales originales o las técnicas tradicionales, perdiéndose parte de su significado histórico y cultural.

El tercer riesgo identificado es el **riesgo de pérdida y alteraciones del patrimonio intangible (tradiciones, fiestas, rituales, conocimientos, modos de vida tradicionales, técnicas y prácticas) asociado a los cambios en el clima (RR.8.3)**. El cambio climático puede tener un impacto considerable en el patrimonio intangible en España, y afectar a tradiciones, fiestas, rituales, conocimientos y modos de vida tradicionales. Las condiciones climáticas extremas, como olas de calor o lluvias intensas, pueden, por ejemplo, dificultar la celebración de festividades tradicionales al aire libre, como las Fallas en Valencia o la Feria de Abril en Sevilla. Esto no solo perjudica la continuidad de estas tradiciones, sino también la economía local que depende de estos eventos. También el cambio en los patrones climáticos puede hacer que ciertas prácticas agrícolas se vuelvan inviables. Por ejemplo, el cultivo de variedades específicas de uva para la producción de vino en regiones como La Rioja podría verse afectado, incluso llevando a la pérdida de técnicas vitivinícolas tradicionales.

Aunque las migraciones climáticas son más comunes actualmente en los países del Sur global, donde los impactos climáticos son más dramáticos, países como España también están comenzando a afrontar situaciones en las que surge la necesidad de desplazamientos de población debido a la degradación ambiental provocada por el cambio climático (Felipe Pérez, 2018) y (MITECO, 2024), tal como se aborda asimismo en el capítulo 14 - *Paz, seguridad y cohesión social*. Un ejemplo dramático y paradigmático de cómo el cambio climático está empezando a generar desplazamientos internos también en países del Norte global como España son las inundaciones de octubre de 2024 en la Comunidad Valenciana, la más mortales en Europa desde 1967, provocadas

por lluvias extremas vinculadas al calentamiento del Mediterráneo. El desastre causó al menos 3.900 desplazamientos, graves daños en infraestructuras y dificultades en las labores de rescate debido a fallos en las alertas tempranas. Semanas después, Málaga también fue afectada por fuertes lluvias, lo que llevó a la evacuación preventiva de 4.200 personas. A finales de año, unas 3.700 personas seguían desplazadas en España por estos eventos (IDMC, 2025).

El abandono definitivo de determinados territorios lleva consigo también la desaparición del patrimonio cultural intangible asociado a sus comunidades. Determinadas prácticas, por ejemplo, las técnicas tradicionales de construcción, como las utilizadas en los pueblos de montaña, o los sistemas tradicionales de regadío y gobernanza del agua, podrían verse amenazadas si las condiciones climáticas cambian drásticamente, llevando a la adopción de nuevas técnicas ajenas a la arquitectura o la gestión tradicional de los recursos.

La UNESCO reconoce la importancia de salvaguardar el patrimonio cultural intangible debido a su contribución a la diversidad cultural y la creatividad humana (UNESCO, 2003). Este patrimonio ayuda a mantener la identidad cultural de las comunidades, fortalece la cohesión social y promueve un sentido de responsabilidad compartida. El impacto económico de la pérdida del patrimonio intangible debida al cambio climático también está, en muchos casos, muy relacionado con la economía local y con el turismo cultural, que puede ser una fuente importante de ingresos para una comunidad.

El cuarto riesgo identificado es el **riesgo de daños en elementos del patrimonio etnográfico material y en los paisajes culturales debido al mayor riesgo de incendios asociado al cambio climático (RR8.4).**

Tal como se menciona en el capítulo *Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental*, específicamente en el *RC4.5 Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático*, los incendios afectan prácticamente a toda nuestra geografía, aunque en el Noroeste peninsular tienen una mayor prevalencia, suponiendo el 40,87 % de la superficie arbolada quemada nacional (Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación, 2019) (Urbieta *et al.,* 2019). Según el *Atlas de Patrimonio Paisajístico Costero de la Unión Europea y los Impactos del Cambio Climático* (ATLAS of European Coastal Heritage Landscapes[3]), siete comunidades autónomas costeras sufrirán riesgos altos o muy altos de incendios bajo el escenario climático RCP 8.5, poniendo en peligro el patrimonio cultural. Los incendios amenazan especialmente a poblaciones rurales y forestales, donde los paisajes culturales (olivares, dehesas, viñedos)

[3] https://appwerescuemep01.azurewebsites.net

y las estructuras históricas son esenciales para la identidad local y la economía, al ser espacios turísticos y productivos. Su destrucción generaría pérdidas culturales, económicas y ambientales irreversibles. La despoblación rural del siglo XXI ha exacerbado el riesgo al incrementar la vegetación no controlada y debilitar prácticas tradicionales de gestión del fuego. El cambio climático, al intensificar la frecuencia y severidad de incendios, pone en riesgo el patrimonio etnográfico y los paisajes, provocando efectos en cascada: pérdida de conocimientos tradicionales, pérdidas económicas por destrucción de recursos agrarios y turísticos, degradación ambiental y desplazamiento de comunidades. Estos impactos combinados afectan a sistemas naturales, sociales y económicos, ampliando el daño inicial.

El quinto riesgo se refiere al **riesgo de daños en bienes culturales materiales expuestos debido a la degradación de los materiales por aumento de temperatura del aire e insolación directa (RR8.5)**. El patrimonio cultural material incluye bienes físicos y concretos que tienen un valor histórico, artístico, arquitectónico o científico y que son susceptibles a la degradación química y mecánica de sus materiales debido al aumento de temperatura. Según datos de diciembre del 2021, en España hay cerca de 30.400 bienes de interés cultural declarados, de los cuales más de la mitad son inmuebles (edificios, monumentos, jardines históricos, etc.) (EPData, 2021). Este patrimonio histórico, vulnerable a las altas temperaturas, se encuentra distribuido por todo el país. Los bienes ubicados en el medio urbano se pueden ver especialmente afectados por el efecto “isla de calor”, sobre todo aquellos localizados en ciudades de mayores dimensiones, donde hay escasez de vegetación y zonas verdes, exceso de estructuras urbanas, elevada contaminación atmosférica, etc.

Los elementos que conforman el patrimonio cultural material tienen un papel relevante en la preservación de la historia y la identidad de las comunidades, proporcionando un sentido de pertenencia y continuidad. También sirven como herramienta educativa, fomentan la cohesión social y atraen turismo, lo que beneficia a la economía local. Además, inspira la creatividad e innovación, conectando a las personas con su herencia cultural y promoviendo el desarrollo cultural y económico. Por todo ello, la pérdida del patrimonio material tiene consecuencias significativas para las comunidades que lo acogen.

El aumento de la temperatura del aire y la insolación directa constituyen uno de los peligros para el patrimonio histórico material ya que pueden causar cambios en los ciclos de cristalización y degradación biológica debido a la variación en el contenido de humedad de los materiales constructivos (ÖNÜR, 2025). La degradación de estos materiales puede comprometer la integridad estructural de los bienes culturales, aumentando el riesgo de daños mayores y colapsos estructurales. La degradación continua de los materiales puede dificultar los esfuerzos de conservación y restauración, aumentando los costos y la complejidad de las intervenciones necesarias para garantizar la preservación. Además, la pérdida o deterioro de bienes culturales materiales puede afectar

negativamente al turismo y la economía local, disminuyendo los ingresos y comprometiendo el empleo en las comunidades que dependen de estos recursos.

El sexto riesgo identificado es el **riesgo de daños en el patrimonio construido debido a vientos extremos (RR8.6)**. Las tormentas de viento figuran entre los riesgos naturales más dañinos en Europa, con unos 5.000 millones de euros de pérdidas anuales estimadas en la UE (Spinoni *et al.*, 2020). El impacto económico de los daños sobre el patrimonio debidos al viento extremo no se debe medir únicamente a través del deterioro material y las indemnizaciones correspondientes. La destrucción o degradación de sitios históricos debido a vientos extremos, aparte de generar daños que pueden ser irreparables, puede reducir el atractivo turístico de la zona y, por ende, afectar negativamente a la economía local.

Los vientos extremos pueden causar fallos en los muros de contención y cimentaciones, comprometiendo la estabilidad estructural de edificios históricos y otras construcciones patrimoniales. La degradación de las cimentaciones puede llevar a la generación de grietas, asentamientos y, en casos extremos, al colapso de la estructura. Esto no solo pone en riesgo el patrimonio construido, sino también la seguridad de las personas que habitan o visitan estos edificios. Los daños estructurales pueden forzar el cierre o evacuación de edificios patrimoniales, afectando al turismo además de la vida cotidiana de las comunidades locales.

Tal como se comenta en el capítulo de *Variables climáticas* la evolución futura del viento presenta una alta incertidumbre. Las proyecciones indican cambios poco significativos en la velocidad media anual, con una ligera disminución hacia finales de siglo, aunque podrían darse aumentos locales en verano en zonas como el valle del Ebro, el Estrecho y Andalucía. Algunas proyecciones indican que puede existir un aumento de los daños en el noroeste y norte de Europa central y una disminución en el resto de Europa (Severino *et al.,* 2024); (“Climate change impacts, risks and adaptation”, 2025).

Finalmente, el último riesgo identificado es el **riesgo de abandono y deterioro del patrimonio tangible asociado a prácticas tradicionales en los paisajes culturales (p. ej., paisajes agrarios, aterrazamientos, vallados de piedra seca, infraestructuras de riego y canalización de agua, etc.) por desertificación (RR8.7)**. El peligro de desertificación en España es grave. Aproximadamente el 74 % del territorio es susceptible de sufrir desertificación (“La desertificación en España, en datos y gráficos”, 2021), ya que se corresponde con zonas áridas, semiáridas o subhúmedas secas, de los cuales el 18 % se encuentra en riesgo «alto» o «muy alto» y el 19 % en riesgo «medio» (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008) Las principales causas incluyen la sequía, la erosión, los incendios forestales, la sobreexplotación de acuíferos y la crisis en la agricultura tradicional, que lleva al abandono de tierras y al deterioro del suelo.

El cambio climático está exacerbando estos problemas, aumentando la frecuencia e intensidad de las sequías y reduciendo la disponibilidad de agua.

España es, junto a Grecia, el país con mayor estrés hídrico de Europa. En la actualidad, casi 12 millones de personas en España sufren algún tipo de restricción en su uso del agua (Greenpeace, 2024). El abandono y deterioro de infraestructuras tradicionales puede resultar en una pérdida irreparable de patrimonio tangible (UNESCO and Sánchez Pérez-Moneo, 2009), especialmente en las áreas rurales y agrícolas más afectadas por la desertificación. Un elemento patrimonial notable amenazado por esta causa, entre otras, lo constituyen las infraestructuras tradicionales de riego y canalización de agua, que han sido cruciales para la agricultura en diversas regiones. Muchas de ellas muestran una elevada capacidad adaptativa, por ejemplo, frente a las sequías, favoreciendo la recarga de acuíferos o la reducción de pérdidas por evaporación. Por ello, su abandono puede resultar en una menor eficiencia en el uso del agua, lo que a su vez puede afectar negativamente a la actividad agrícola y la economía local. Pero, además, los paisajes culturales que han conformado estos sistemas, integrados por una diversidad de elementos (Castillo Ruiz, n.d.): mosaicos agrarios, pequeñas presas, acequias y canales, aterrazamientos y vallados de piedra seca, molinos, puentes..., suelen atraer a turistas interesados en la historia y la cultura, además de ser un factor de enriquecimiento de la biodiversidad. El deterioro de estos espacios, por tanto, puede disminuir su valor agrario, ambiental y paisajístico, así como su atractivo turístico, y (Costa, 2018) amenazar con ello las frágiles economías locales, lo que, en última instancia, puede provocar la migración de la población hacia áreas urbanas. En este contexto, la falta de mantenimiento también puede acelerar el deterioro de estas infraestructuras, elevando los costos de restauración y representando una carga económica considerable para las comunidades locales y los gobiernos.

El abandono de sistemas y prácticas tradicionales también implica la pérdida de conocimientos ancestrales que son valiosos no solo culturalmente, sino también económicamente, ya que pueden ofrecer una variada colección de soluciones sostenibles y adaptadas al entorno local.

El cambio climático es un factor más de riesgo para los paisajes naturales y culturales, hasta el punto de que puede llegar a modificarlos permanentemente. Estos paisajes a menudo son parte integral del valor del sitio, ya que reflejan la interacción histórica entre los seres humanos y el entorno. Si un paisaje se transforma irreversiblemente, debido por ejemplo a la desertificación, se pierde una parte esencial de su valor como patrimonio histórico. Muchas comunidades han mantenido una conexión con los sitios patrimoniales durante generaciones. Si un sitio es destruido o degradado también puede desvanecerse una parte de la memoria colectiva y las tradiciones vivas vinculadas a ese lugar. Estas tradiciones, una vez perdidas, no pueden recuperarse fácilmente, incluso si el sitio físico es parcialmente restaurado. En la situación más extrema, cuando el cambio climático obliga a las comunidades locales a abandonar su entorno debido a sequías u otros fenómenos,

se interrumpe el vínculo entre las comunidades y su patrimonio; la transmisión intergeneracional de conocimientos y prácticas asociadas al lugar se rompe, y aunque el sitio físico siga en pie, su valor cultural y social queda debilitado.

Tabla 4. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del sector Patrimonio Cultural.

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR8.1	Patrimonio tangible	Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera.	RC8.3
RR8.2	Patrimonio tangible	Riesgo de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos históricos debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales.	RC8.1
RR8.3	Patrimonio intangible	Riesgo de pérdida y alteraciones de patrimonio intangible (tradiciones, fiestas, rituales, conocimientos, modos de vida tradicionales, técnicas y prácticas) asociado a los cambios en el clima.	
RR8.4	Patrimonio tangible e intangible	Riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios.	RC8.2
RR8.5	Patrimonio tangible	Riesgo de daños en bienes culturales debido a la degradación de los materiales por aumento de temperatura del aire e insolación directa.	
RR8.6	Patrimonio tangible	Riesgo de daños en el patrimonio construido debido a vientos extremos.	
RR8.7	Patrimonio tangible	Riesgo de abandono y deterioro del patrimonio tangible asociado a prácticas tradicionales en los paisajes culturales (p. ej. paisajes agrarios, aterrazamientos, vallados de piedra seca, infraestructuras de riego y canalización de agua, etc.) por desertificación.	

4. Riesgos clave del sector de patrimonio cultural

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición y/o en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (Field *et al.,* 2012). Para la identificación de los riesgos clave del sector de Patrimonio Cultural, los riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por (Field *et al.,* 2012), y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts and Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa EEA (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector de Patrimonio Cultural y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el *Análisis Multicriterio (AMC)*. Aquellos riesgos relevantes que obtuvieron las valoraciones más altas han sido catalogados como "Riesgos Clave" y son los siguientes:

- RR8.2 Riesgo de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos históricos debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales (RC8.1).

- RR8.3 Riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios (RC8.2).

- RR8.1 Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera. (RC8.3).

A continuación, se describe con mayor nivel de detalle cada uno de estos riesgos clave.

4.1. RC8.1. Riesgo de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos históricos debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales

Este riesgo guarda una estrecha relación con el *Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales* (RC2.2), abordado en el capítulo 2 - *Agua y recursos hídricos*. Tal como se expone en dicho capítulo, cualquier episodio de inundación significativa puede desencadenar múltiples riesgos en cascada que afectan diversos sectores, incluido el del patrimonio cultural. En el informe de 2021 "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" (Sanz and Galán, 2020) ya se identificaron las inundaciones como uno de los peligros climáticos que podían afectar al patrimonio cultural, a partir de un análisis cualitativo. También aparece, a partir de un análisis cuantitativo, en el ámbito de las Canarias, en el informe de 2017 de la Fundación ENT (Campos Rodrigues and Puig Ventosa, 2023) y en (García Sánchez and García Sánchez, 2020).

El patrimonio cultural está expuesto a estos peligros en todos los territorios. Por ejemplo, la revisión de los planes de gestión del riesgo de inundación (MITECO, 2021) identifica 807 puntos de especial importancia relacionados con el patrimonio histórico en zonas de mayor riesgo de inundación en toda España. Además, según datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico MITECO, 2022), 2,73 millones de residentes en España viven en zonas, dentro de las cuencas hidrográficas intercomunitarias, con probabilidad de inundarse una vez cada 500 años, y cerca de medio millón en áreas que se inundan de media una vez cada diez años. Si se incluyen otras cuencas internas, la cifra podría alcanzar los 5 millones de personas, aproximadamente el 10 % de la población española.

La pérdida de patrimonio cultural debida a inundaciones no solo puede generar daños materiales, sino también afectar al turismo, una fuente importante de ingresos para las comunidades, pues la destrucción de sitios históricos puede reducir el atractivo de ciertas zonas.

El patrimonio cultural es crucial para las personas y las comunidades en toda la Unión Europea. Contribuye al bienestar, la cohesión social, la identidad, la economía local, el atractivo territorial y la sostenibilidad ambiental, extendiendo sus beneficios a una población mayor que la residente en el entorno del bien. En 2021, las actividades económicas vinculadas directamente al patrimonio, archivos y bibliotecas representaron un 0,14 % del PIB (Ministerio de Cultura, 2024). Por otro lado, el turismo cultural, que constituye una parte significativa de las visitas a muchos destinos turísticos, representó el 39 % del total de llegadas de turismo internacional en 2017. Tal como se menciona en el capítulo 12, el turismo es una de las principales actividades económicas en España, que aportó en 2023 el 12,8 % del PIB (EXCELTUR, 2024).

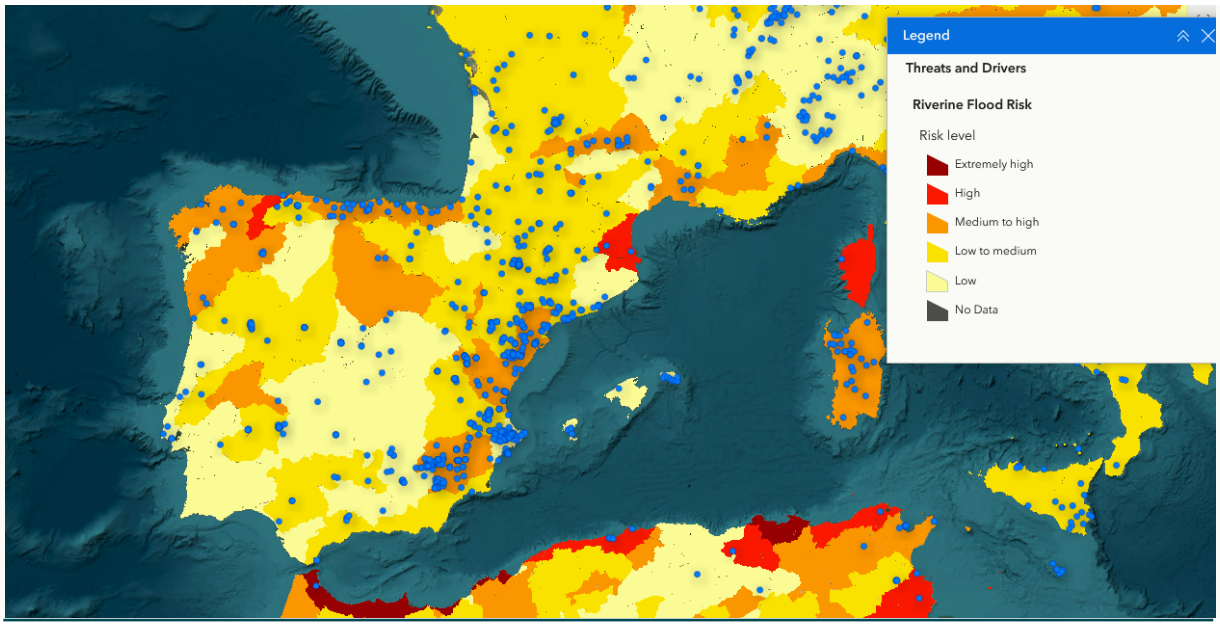


Figura 2. riesgo de inundaciones fluviales y localización de elementos de la lista de patrimonio mundial en España. (Fuente: UNESCO Sites Navigator[4]).

El daño a yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino, pinturas rupestres, frescos y edificios históricos debido a inundaciones fluviales puede resultar en una pérdida irreparable de patrimonio cultural. Esto no solo afecta a las generaciones actuales, sino también a las futuras, que no podrán disfrutar ni aprender de estos recursos históricos. La distribución de las consecuencias adversas de este riesgo no es homogénea, dado que los impactos pueden incidir desproporcionadamente en aquellas comunidades con bajos recursos económicos, con patrimonio construido en mal estado o con escaso mantenimiento, etc. Sin embargo, no existen datos para valorar de forma precisa este factor.

Más allá del riesgo de inundación, las precipitaciones extremas y los cambios en la humedad también pueden afectar al patrimonio histórico de diversas maneras. Entre ellas se incluyen **movimientos del terreno**, como desprendimientos, deslizamientos y flujos, así como subsidencias y colapsos, que pueden ser desencadenados por el almacenamiento de agua en riberas fluviales o por la erosión en las márgenes. También se considera **la sufusión**, que es la circulación de agua subsuperficial que genera conductos y cavidades, los cuales pueden colapsar y afectar a elementos patrimoniales. **La karstificación** se refiere a procesos de disolución de rocas solubles, como calizas, dolomías, yesos y sales, que pueden hacer imposible la recuperación del estado original. **La expansividad de las arcillas**, que es el hinchamiento diferencial de ciertos tipos de arcillas debido a la humectación, puede causar daños en las cimentaciones y estructuras. **La formación de**

[4] https://whc.unesco.org/en/wh-gis

arenas movedizas, que son agregados de arena, limo y arcilla empapados que actúan como un fluido, también es capaz de provocar el hundimiento o asentamiento diferencial de los elementos patrimoniales. Finalmente, **la sobreelevación de la superficie freática**, por almacenamiento de agua en los acuíferos, puede anegar elementos patrimoniales. Todos estos fenómenos pueden generar daños potenciales al patrimonio histórico y resultar en pérdidas irreversibles de su valor, ya que la destrucción física o de sus condiciones materiales puede llegar a impedir la recuperación de su estado original. El valor del patrimonio está profundamente ligado a la autenticidad de los materiales originales y al contexto histórico en el que fueron creados. Si las estructuras son severamente dañadas o destruidas, cualquier intento de reconstrucción o restauración, aunque teóricamente posible, no puede replicar completamente ni los materiales originales ni los antiguos métodos de trabajo, lo que compromete la autenticidad y el significado cultural.

La Figura 3 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y sobre él actúan los peligros climáticos, vulnerabilidades y otros factores subyacentes que lo potencian. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

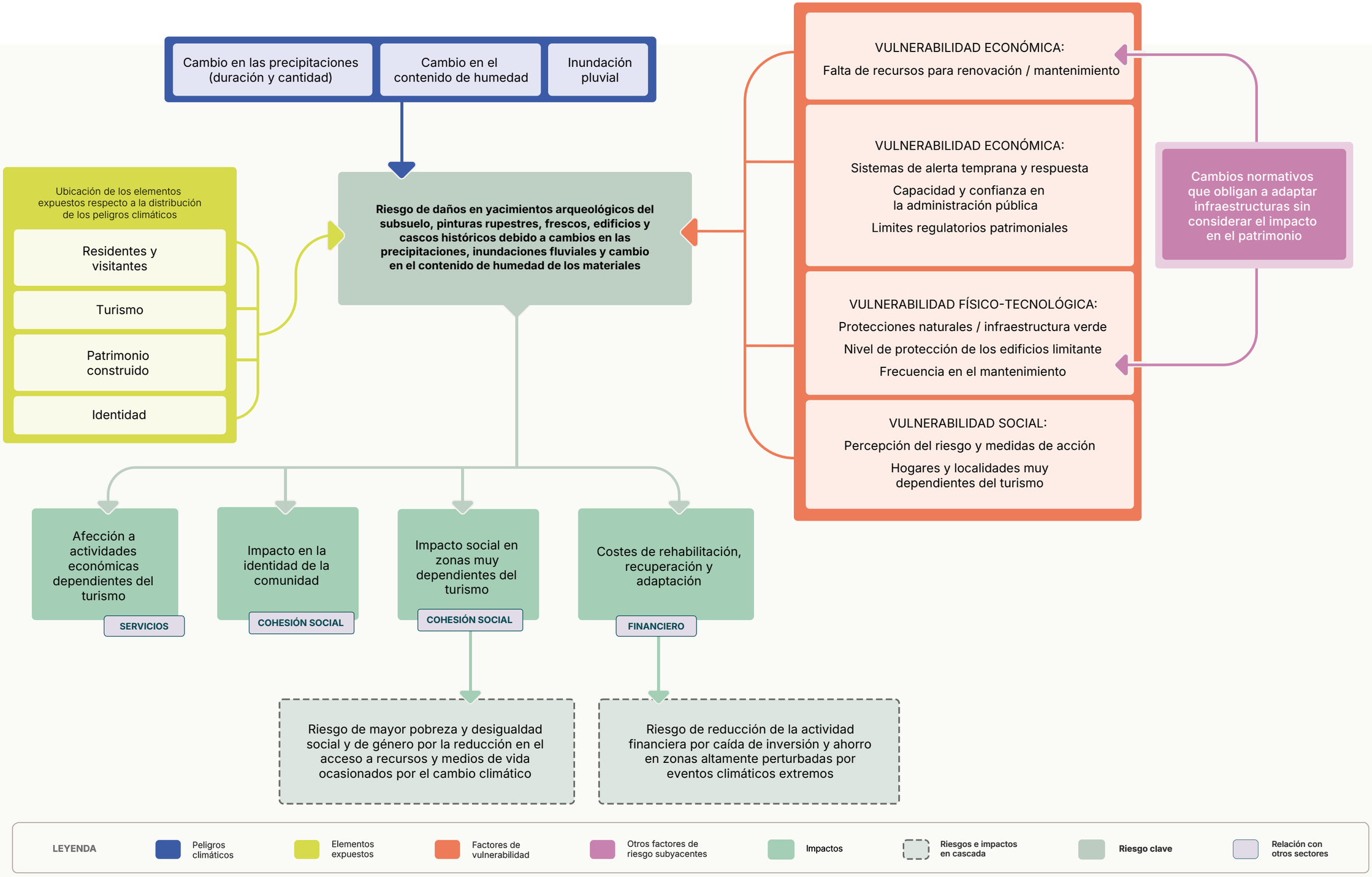


Figura 3. Cadena de impacto del riesgo clave RC8.1

Ficha 1. Análisis del riesgo clave de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos histórico debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales (RC8.1).

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	**Sustancial**	**Crítica**	**Crítica**	**Crítica**
	Riesgos locales documentados (p. ej. DANA en Valencia). Centros históricos como el de Santiago de Compostela se encuentran en riesgo debido a la socavación hidrodinámica intensificada por las inundaciones fluviales. (Hu and Hewitt, 2024a).	(MITECO, 2021)) revela un aumento del riesgo de inundación para el periodo de retorno de 500 años, en los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5. Según el "ATLAS europeo de tipologías de paisajes patrimoniales e impactos del cambio climático"[5], en el escenario climático RCP 4.5 los paisajes históricos de más del 70 % de las regiones costeras (NUTS 3) españolas estarán en un nivel de peligro alto o muy alto de inundaciones pluviales. Los resultados del proyecto EURO-CORDEX para España (Carvalho *et al.*, 2022) muestran un aumento de las precipitaciones máximas para 2021-2040. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2020. El riesgo de pérdida irreversible de yacimientos arqueológicos en zonas de baja elevación se considera plausible en base a inferencias teóricas, si bien no se ha documentado evidencia cualitativa que permita confirmar su manifestación concreta.	Carvalho *et al.*, (2022) prevén un aumento de las precipitaciones máximas para el período 2042-2070, lo que aumenta la presión sobre sistemas de drenaje y cimientos. Mayor vulnerabilidad en zonas atlánticas y cantábricas (p. ej. Santiago de Compostela, Lugo) (Hu and Hewitt, 2024a). El "ATLAS europeo de tipologías de paisajes patrimoniales e impactos del cambio climático" no prevé un aumento del riesgo en las regiones costeras respecto a escenarios anteriores.	Este escenario implica impactos críticos en bienes situados en cuencas fluviales y áreas cost eras bajas (Hu and Hewitt, 2024a). El "ATLAS europeo de tipologías de paisajes patrimoniales e impactos del cambio climático" no prevé un aumento del riesgo en las regiones costeras respecto a escenarios anteriores.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[5] https://appwerescuemep01.azurewebsites.net/

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio
	Las limitaciones de las bases de datos sobre los daños en patrimonio cultural es un problema internacional y las metodologías suelen ser híbridas y locales.	No se conocen estudios cualitativos sobre el impacto en el patrimonio a nivel de toda España.	No se conocen estudios cualitativos sobre el impacto en el patrimonio a nivel de toda España.	No se conocen estudios cualitativos sobre el impacto en el patrimonio a nivel de toda España.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Precipitaciones intensas e inundaciones pluviales. • Inundaciones fluviales.	• Yacimientos arqueológicos. • Pinturas rupestres. • Frescos. • Edificios y cascos histórico.	• Ausencia de infraestructuras verdes y protecciones naturales frente a riesgos hidrometeorológicos. • Limitaciones en el nivel de protección estructural de los edificios históricos. • Presión antrópica derivada de la actividad urbana y turística intensiva. • Carencia de sistemas de alerta temprana y protocolos de respuesta ante emergencias. • Capacidades institucionales insuficientes y déficit de legitimidad en la gestión pública. • Restricciones normativas vinculadas a la protección patrimonial. • Vulnerabilidad social de las comunidades locales (edad avanzada, capacidades físicas limitadas). • Perfil del visitante con baja sensibilidad hacia la conservación patrimonial.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo			• Escasa diversificación económica y limitada oferta de servicios complementarios. • Percepción del riesgo limitada y adopción de medidas de adaptación inadecuadas. • Alta dependencia económica de los hogares y localidades respecto al turismo. • Temporalidad y precariedad laboral en el sector turístico. • Competencia creciente de destinos internacionales con características similares. • Baja frecuencia en las labores de mantenimiento preventivo. • Obsolescencia técnica y funcional de las infraestructuras existentes. • Falta de resiliencia en las infraestructuras críticas vinculadas a recursos básicos (agua, energía, movilidad).

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los daños sobre el patrimonio cultural pueden afectar al turismo internacional de manera directa y reducir la competitividad frente a otros destinos. En un escenario de calentamiento global de 1.5 °C, España enfrenta riesgos significativos para su patrimonio cultural y recursos hídricos, según el informe EUCRA (2024). Aunque el turismo sigue creciendo, los costos de adaptación climática podrían afectar su sostenibilidad a largo plazo.
Territoriales	El patrimonio cultural que podría verse afectado, especialmente por inundaciones, se encuentra distribuido por todas las comunidades autónomas del país. España tiene unos 25000 kilómetros de zonas inundables. Sin embargo, entre las comunidades con mayor longitud de subtramos de ARPSI (Áreas con Riesgo Potencial Significativo de Inundación) se encuentran Cataluña, Galicia, Comunidad Valenciana, Andalucía, Castilla y León, o Castilla-La Mancha (MITECO, n.d.).
Sociales	Este riesgo puede tener mayores impactos en aquellos centros históricos ubicados en zonas inundables, con mayor población o con mayor concentración de personas con escasos recursos económicos (EEA, 2024). Además, el impacto potencial sobre el patrimonio puede verse agravado en contextos de especial vulnerabilidad social, donde ciertos grupos enfrentan barreras adicionales para participar en su protección, gestión o recuperación. Los factores sociales pueden estar relacionados también con la dependencia de localidades y hogares de actividades turísticas relacionadas con el patrimonio cultural.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	La reconstrucción del patrimonio cultural dañado sin considerar la perspectiva de cambio climático puede dar lugar a daños recurrentes y mayores costes de mantenimiento incluso a la pérdida irreversible de su valor patrimonial.
Género	La discriminación de género limita el control de las mujeres y niñas sobre las decisiones que afectan a sus vidas, además de restringir su acceso a recursos y oportunidades. Esta situación incrementa su vulnerabilidad, resultando en tasas más altas de mortalidad, morbilidad y pérdida de medios de subsistencia entre las mujeres y niñas durante los desastres (UNDRR, 2022c).
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales críticos en este riesgo se pueden establecer a partir de: 1. La torrencialidad de las precipitaciones: la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior clasifica las lluvias según su intensidad: fuertes (entre 15 y 30 mm/hora); muy fuertes (entre 30 y 60 mm/hora); y torrenciales (superiores a 60 mm/hora). En el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos se considera que la lluvia puede suponer un riesgo meteorológico a partir del nivel de lluvias fuertes y bajo esta idea se establecen los umbrales de precipitación acumulada en 1 hora y en 12 horas para las diferentes zonas meteorológicas del país (Ministerio de Interior, n.d.); 2. La magnitud de la inundación: la magnitud de la inundación dependerá de la extensión de la zona inundada, de la altura y velocidad que alcance el agua, del tiempo de llegada de la inundación y su tiempo de permanencia, de la cantidad de sólidos transportados, etc. Con más de 1 m de altura, el agua puede causar daños estructurales en los edificios, por eso en las normativas se suele utilizar el umbral de 1 m como uno de los indicadores de graves daños por inundaciones (Bravo, 2017); (CCS, 2017).
Lock-in/Bloqueo	Marcos normativos y políticos, así como legislaciones y regulaciones respecto al patrimonio cultural que no incorporan las estrategias de adaptación al cambio climático, pueden bloquear cambios necesarios.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en Patrimonio Cultural, impulsado por el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) y el Ministerio de Cultura.[6]

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[6] https://www.cultura.gob.es/planes-nacionales/planes-nacionales/gestion-riesgo-y-emergencias.html

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración General del Estado: marco legal y coordinación de acciones a nivel nacional: · Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. · Ministerio de Cultura - Subdirección General de Gestión y Coordinación de Bienes Culturales. · Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). · Consorcio de Compensación de Seguros. · Confederaciones hidrográficas. • Comunidades autónomas: gestión del patrimonio, coordinación de emergencias, planificación territorial y sectorial. • Diputaciones: gestión del patrimonio, planes de emergencias y protección civil. • Ayuntamientos: planes especiales de conservación, planes locales de acción climática, planes de clima y energía (PACES), planes de emergencia municipales, PGOU, etc. • Empresas de saneamiento, drenaje, electricidad, transporte y comunicaciones. • Cuerpos de bomberos.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La conservación preventiva es una estrategia clave para proteger el patrimonio cultural frente a los efectos del cambio de humedad en los materiales; el monitoreo y la evaluación continua, conjuntamente con el control del entorno, pueden ser claves. Se pueden emplear materiales y técnicas de conservación que mejoren la resistencia de los elementos patrimoniales a los efectos del cambio climático, por ejemplo, el uso de materiales menos sensibles a los cambios de humedad y temperatura puede prolongar la vida útil de los objetos culturales. Pero sigue siendo necesario que se desarrollen planes de gestión de riesgos específicos para el patrimonio cultural, que incluyan medidas de prevención y respuesta ante desastres naturales como los causados por las precipitaciones extremas.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	La incorporación de infraestructura verde para incrementar la permeabilidad de los suelos o mejorar la protección de elementos patrimoniales frente a inundaciones puede incrementar los sumideros de carbono urbanos.
Déficits de información	• Mapas de peligrosidad y riesgo de inundaciones sin considerar el patrimonio cultural. • Información de riesgo no adaptada suficientemente a las unidades geográficas provinciales, comarcales, municipales. • Insuficiente capacitación de la ciudadanía para responder adecuadamente a las situaciones de riesgo o emergencia en patrimonio.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.2. RC8.2 Riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios

El impacto de los incendios en el patrimonio etnográfico ya se mencionaba en el Barómetro de las Catástrofes en España 2022 (Fundación AON, 2023). Tal como se menciona en el capítulo 4 - *Forestal, desertificación, caza y pesca continental*, específicamente en el *RC4.5 Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático*, los incendios afectan prácticamente a toda nuestra geografía, aunque en el Noroeste peninsular tienen una mayor prevalencia, suponiendo el 40,87 % de la superficie arbolada quemada nacional (Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación, 2019); (Urbieta *et al.,* 2019). El impacto de los grandes incendios también está aumentando en la cuenca mediterránea, que se está convirtiendo en una de las áreas con mayor riesgo en el mundo (Moreno *et al.,* 2023). Según el "ATLAS of European coastal heritage landscapes typologies and climate change impacts"[7], siete comunidades autónomas costeras sufrirán un alto o muy alto riesgo de incendios en el escenario climático RCP 8.5, lo que afectará al patrimonio cultural y a los paisajes culturales.

El riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y los paisajes culturales afecta principalmente a las poblaciones que viven en áreas rurales y forestales, que están más expuestas a sufrir incendios forestales (Costa, 2018). Los incendios pueden dañar no solo los paisajes, sino también las estructuras históricas y los artefactos culturales que son vitales para la identidad y la historia de estas comunidades (Castro and Souza, 2022). Con todo, la pérdida de este patrimonio afecta a una población mucho mayor que la residente en el entorno.

Los incendios pueden destruir paisajes de gran relevancia no solo cultural sino también para la economía local (Bodas Jiménez, 2021). Es importante mencionar casos como el gran incendio forestal de Navalacruz (Ávila, 2021) que afectó a más de 22.000 hectáreas, incluyendo elementos arqueológicos como el Castro de Ulaca y el Puente de Muñico, documentado por la Fundación Santamaria de la Real[8] (Ortega-Becerril *et al.,* 2024). Los paisajes culturales incluyen territorios extensos y económica y ambientalmente significativos, como olivares, dehesas o viñedos, entre otros, espacios muy valiosos para la economía y para la conservación de la biodiversidad, por lo que su pérdida o degradación debida a incendios supondría un grave impacto cultural, económico y ambiental.

[7] https://appwerescuemep01.azurewebsites.net/

[8] https://santamarialareal.org/elaboramos-un-informe-sobre-el-impacto-de-los-incendios-en-el-paisaje-cultural/

Pero, además, la pérdida de estos paisajes culturales puede acarrear pérdidas económicas asociadas a la actividad turística, pues a menudo constituyen una parte significativa del atractivo de muchos destinos turísticos. Tal como se ha mencionado anteriormente, en 2021, la aportación del conjunto de actividades económicas vinculadas al patrimonio, archivos y bibliotecas supuso un 0,14 % del PIB; en 2022, el turismo representó un 11,6 % del PIB según el INE.

De acuerdo con las estadísticas de incendios forestales, en España se producen de media unos 17000 incendios forestales anuales (la mayoría de ellos menores a 1 ha), que afectan a unas 114000 ha de superficie forestal (Ministerio de Interior, n.d.). A futuro, para un calentamiento de 1,5 °C, se prevé un incremento en el número de días anuales con peligro alto-extremo de incendios (European Commission. Joint Research Centre., 2020). Según se puede ver en el capítulo sectorial *Riesgos del cambio climático sobre el sector forestal*, el cambio climático está intensificando las condiciones que favorecen los incendios forestales, como temperaturas extremas, baja humedad, escasas precipitaciones y vientos fuertes (Abatzoglou *et al.,* 2018); (Cardil *et al.,* 2015); (Rodrigues *et al.,* 2023); (Russo *et al.,* 2017). En España, el 95 % de los incendios tiene origen humano (Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación, 2019), 2019) y, aunque su número ha descendido en las últimas décadas, la superficie quemada sigue siendo significativa, con una media anual de 103.000 ha, de las cuales 24.000 ha se ubican en zonas protegidas (MITECO, 2025).

El cambio climático aumenta la frecuencia y severidad de los incendios forestales, lo que pone en riesgo el patrimonio etnográfico material y los paisajes culturales. La destrucción de estos elementos puede desencadenar una serie de efectos en cascada, que incluyen la pérdida de conocimientos tradicionales, los impactos económicos negativos debidos tanto a la destrucción de paisajes agrarios como a la disminución del turismo por pérdida de atractivo, la degradación ambiental e incluso el desplazamiento de comunidades. Estos efectos combinados amplifican el impacto inicial, provocando un daño significativo a los sistemas naturales, sociales y económicos.

El riesgo de incendios está asociado a determinadas variables meteorológicas. De hecho, (AEMET, n.d.) calcula el nivel de riesgo meteorológico diario de incendios forestales a partir de un modelo numérico de predicción del tiempo cuyas variables de entrada son: la temperatura del aire seco, la humedad relativa del aire, la velocidad del viento y la precipitación registrada en las últimas 24 horas. Estas variables pueden influir significativamente en el riesgo de incendios y, si se superan ciertos umbrales, la magnitud del riesgo aumenta sustancialmente.

Los incendios en paisajes culturales destruyen infraestructuras tradicionales, como terrazas agrícolas y sistemas de riego, reducen la biodiversidad, afectan negativamente el turismo y la economía local, y provocan la pérdida de conocimientos y prácticas tradicionales transmitidos de generación en generación. Además, pueden forzar el desplazamiento de comunidades, lo que agrava la

pérdida de cohesión social y cultural. La recuperación de estos paisajes es compleja y requiere un esfuerzo significativo en términos de inversión en restauración ecológica, reconstrucción de infraestructuras y revitalización de conocimientos tradicionales (UNESCO, 2024).

La revitalización de los territorios rurales, el mantenimiento de los paisajes culturales y la preservación de la cultura intangible del manejo del fuego y del territorio y sus recursos pueden generar alternativas para minimizar el riesgo de grandes incendios. Según (Moreno *et al.,* 2023), las dinámicas territoriales del siglo XXI en la cuenca mediterránea han incrementado el riesgo de incendios debido, en gran parte, a la despoblación de áreas rurales. A medida que las ciudades crecen, muchas más zonas rurales y agrícolas se abandonan, lo que provoca un aumento en la cantidad de matorrales y vegetación no controlada, que actúan como combustible para los incendios. La pérdida de población en estas áreas también ha reducido el conocimiento tradicional sobre el manejo del fuego y ha debilitado prácticas que antes contribuían a prevenir incendios, muy especialmente la práctica de la ganadería extensiva o el aprovechamiento de recursos forestales. Aunque existen proyectos interesantes de adaptación forestal (Life Boscos y Life MEDACC, por ejemplo), su alcance territorial limitado no soluciona la falta de mantenimiento en áreas despobladas, que son las más vulnerables.

La **Figura 4** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y sobre él actúan los peligros climáticos, vulnerabilidades y otros factores subyacentes que lo potencian. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

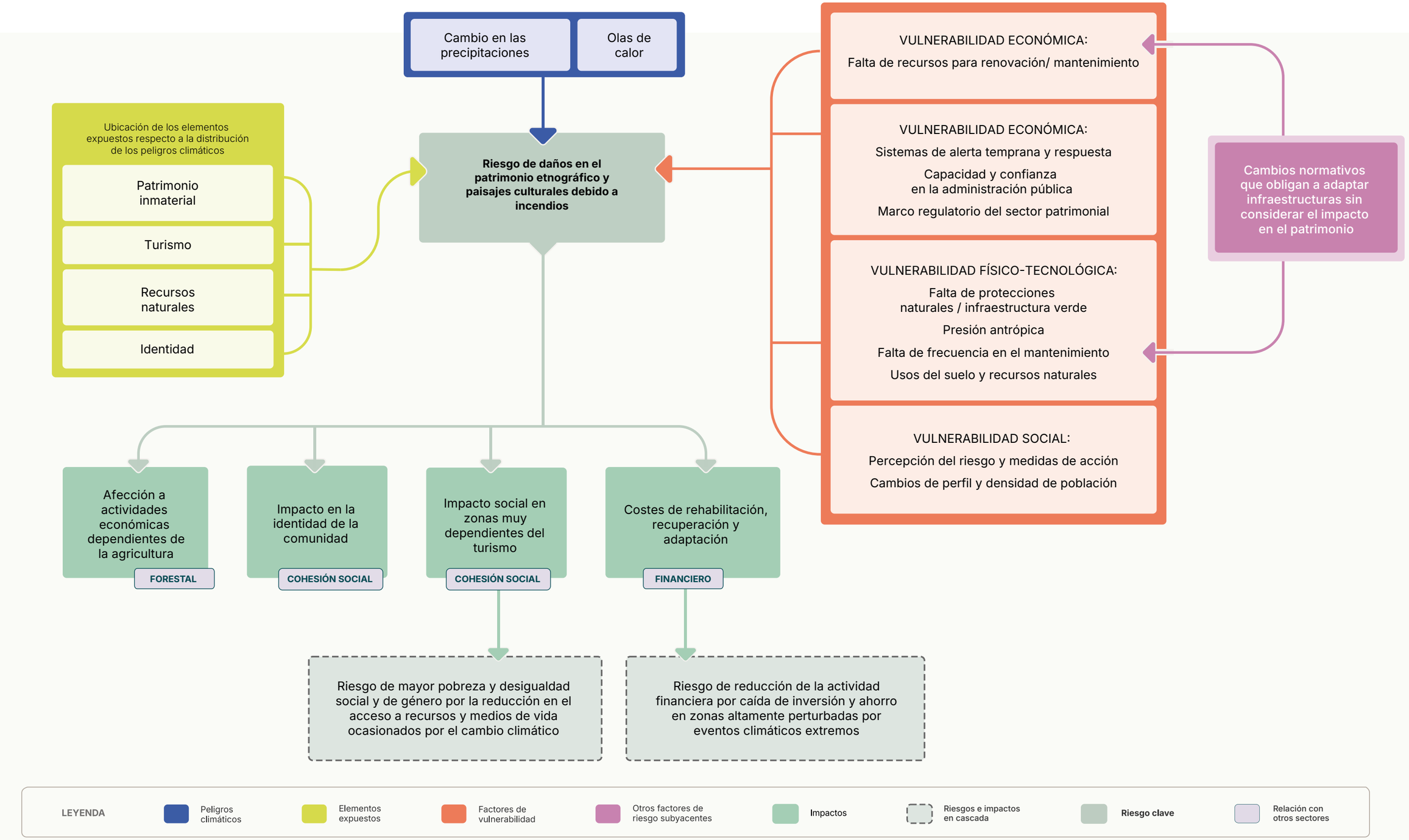


Figura 4. Cadena de impacto del riesgo clave RC8.2

Ficha 2. Riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios (RC.8.2)

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	**Sustancial**	**Crítica**	**Crítica**	**Crítica**
	El índice de peligro de incendios FWI ha aumentado entre 1979-2009 (+136 %; +29 días por año) (Jones *et al.*, 2022). Aumento de 12-29 días por año en la duración de la temporada de incendios (Jolly *et al.*, 2015). El cociente de probabilidades de años de incendios extremos ha aumentado (Abatzoglou *et al.*, 2025). El riesgo de incendio actual en los Sitios del Patrimonio Mundial Cultural de España es elevado, ya que la mayoría de estas zonas presentan más del 60 % de los días con condiciones meteorológicas favorables para incendios, especialmente en áreas con cobertura de bosques y pastizales (Hu and Hewitt, 2024b).	En el sur de Europa, se prevé un aumento del FWI medio anual del 18 % y el 22 % respecto al periodo histórico (1971–2000) (Camia *et al.*, 2016). El número de días con FWI extremo (>38) se triplican (de 26 a 80 días/año) en el oeste de España (Aparício *et al.*, 2022). Según el "ATLAS europeo de tipologías de paisajes patrimoniales e impactos del cambio climático"[9], en el escenario climático RCP 4.5 los paisajes históricos de más del 65 % de las regiones costeras (NUTS 3) españolas estarán en un nivel de peligro alto o muy alto de incendios.	Escenarios similares a 1.5 °C, pero con mayor intensidad. Posible desaparición de asentamientos rurales tradicionales y pérdida de conocimientos locales (ej.: técnicas de regadío en zonas áridas). Además, bajo un escenario de calentamiento global de 3 °C, se proyecta una transición climática en amplias zonas del centro y este de España, pasando de clima mediterráneo a clima desértico, lo que intensifica la frecuencia de sequías y la desertificación. Esto pone en peligro no solo los bienes materiales, sino también los paisajes culturales, las prácticas agrícolas tradicionales y el conocimiento local asociado a la gestión del territorio (Hu and Hewitt, 2024b).	Se proyecta que se triplique el peligro extremo de incendio (FWI 90 -nivel de peligro de incendio muy alto o extremo- 80 días/año) y habrá mayor probabilidad de incendios extremos en primavera y otoño (Aparício *et al.*, 2022). La superficie quemada podrá aumentar del 96-187 % (Turco *et al.*, 2018). Según el "ATLAS europeo de tipologías de paisajes patrimoniales e impactos del cambio climático", en el escenario climático RCP 8.5 los paisajes históricos de más del 80 % de las regiones costeras (NUTS 3) españolas estarán en un nivel de peligro alto o muy alto de incendios.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[9] https://appwerescuemep01.azurewebsites.net/

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio
	Las limitaciones de las bases de datos sobre los daños en patrimonio cultural es un problema internacional y las metodologías suelen ser híbridas y locales.	No se conocen estudios cualitativos sobre el impacto en el patrimonio a nivel de toda España.	No se conocen estudios cualitativos sobre el impacto en el patrimonio a nivel de toda España.	No se conocen estudios cualitativos sobre el impacto en el patrimonio a nivel de toda España.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Sequías. • Olas de calor. • Episodios de calor extremo.	Patrimonio etnográfico y paisajes culturales.	• Sensibilidad y resiliencia de especies y entornos. • Uso inadecuado del suelo y recursos naturales. • Presión antrópica. • Falta de sistemas de alerta temprana y respuesta. • Capacidad y confianza en la administración pública limitadas. • Límites regulatorios ambientales. • Estacionalidad de flujos turísticos. • Perfil del turista. • Falta de diversificación económica y de servicios. • Percepción del riesgo y medidas de acción inadecuadas. • Hogares y localidades muy dependientes del turismo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo			• Temporalidad y precariedad del empleo turístico. • Falta de frecuencia de mantenimiento. • Obsolescencia de las infraestructuras. • Falta de resiliencia de infraestructuras y recursos.
	Aspectos transversales		
Transfronterizos	Muchos paisajes culturales y patrimonios etnográficos se extienden a través de fronteras nacionales (como los Pirineos, entre España y Francia, o la Raya, entre España y Portugal). Un incendio en una zona puede afectar directamente a bienes culturales del otro lado de la frontera. A menudo, los planes de prevención y respuesta ante incendios no están suficientemente coordinados entre países, lo que dificulta una actuación eficaz y rápida en zonas fronterizas.		
Territoriales	El riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y los paisajes culturales afecta principalmente a las poblaciones que viven en áreas rurales y forestales, que están más expuestas a sufrir incendios forestales.		
Sociales	El impacto social de los incendios forestales se relaciona con la afectación de los medios de vida y subsistencia de comunidades que dependen de bienes patrimoniales expuestos, como paisajes culturales, prácticas tradicionales o recursos etnográficos. En contextos de especial vulnerabilidad social, la pérdida de estos bienes puede tener consecuencias significativas en términos de identidad, cohesión comunitaria y sostenibilidad económica. Esto incluye a colectivos como personas migrantes, mayores, con discapacidad o en situación de pobreza, cuya capacidad para participar en la conservación, gestión o recuperación del patrimonio puede verse limitada.		
Maladaptación	La reconstrucción del patrimonio dañado sin considerar la perspectiva de cambio climático, así como apostar por medidas rígidas que no pueden ajustarse a las condiciones cambiantes, pueden dar lugar a daños recurrentes.		
Género	La discriminación de género limita el control de las mujeres y niñas sobre las decisiones que afectan sus vidas, además de restringir su acceso a recursos y oportunidades. Esta situación incrementa su vulnerabilidad, resultando en tasas más altas de mortalidad, morbilidad y pérdida de medios de subsistencia entre las mujeres y niñas durante los desastres (UNDRR, 2022c).		
	Otros aspectos analizados		
Umbrales críticos	El índice FWI (Fire Weather Index) se calcula a partir de variables como la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la precipitación. Estas variables pueden influir significativamente en el riesgo de incendios y, si se superan ciertos umbrales, la magnitud del riesgo aumenta sustancialmente.		

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	La gestión del riesgo de incendios en el patrimonio etnográfico y los paisajes culturales puede verse limitada por diversos bloqueos interrelacionados. El bloqueo tecnológico se manifiesta cuando la dependencia de tecnologías específicas impide adoptar soluciones más adaptadas o sostenibles, como la integración de conocimientos tradicionales en la prevención de incendios. Por su parte, el bloqueo institucional o político surge de la falta de coordinación entre administraciones, especialmente en contextos transfronterizos, donde las diferencias normativas y la escasa cooperación dificultan una respuesta conjunta eficaz. Finalmente, el bloqueo operativo o logístico se refiere a las barreras prácticas que impiden actuar con rapidez y eficacia, como la dificultad de acceso a zonas rurales, la escasa formación del personal en protección patrimonial durante emergencias o la dificultad para movilizar recursos entre regiones. Estos bloqueos, si no se abordan, pueden agravar la vulnerabilidad del patrimonio frente a incendios cada vez más frecuentes e intensos.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en Patrimonio Cultural, impulsado por el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) y el Ministerio de Cultura.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración General del Estado: marco legal y coordinación de acciones a nivel nacional · Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. · Ministerio de Cultura- Subdirección General de Gestión y Coordinación de Bienes Culturales. · Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). · Protección civil. · Consorcio de Compensación de Seguros. • Comunidades autónomas: gestión del patrimonio, coordinación de emergencias, planificación territorial y sectorial. • Diputaciones: gestión del patrimonio, planes de emergencias y protección civil. • Ayuntamientos: planes especiales de conservación, planes locales de acción climática, planes de clima y energía (PACES), planes de emergencia municipales, PGOU, etc. • Empresas de saneamiento, drenaje, electricidad, transporte y comunicaciones. • Cuerpos de bomberos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de la vulnerabilidad del patrimonio frente a peligros como el cambio climático, incendios o inundaciones. • Preservación del valor histórico, artístico y simbólico de los bienes culturales. • Fortalecimiento de la identidad y cohesión social de las comunidades locales. • Impulso al turismo cultural sostenible, generando beneficios económicos y sociales. • Fomento de la innovación tecnológica y recuperación de saberes tradicionales en conservación y gestión del territorio. • Mejora de la planificación territorial y de la gestión del riesgo en entornos patrimoniales. • Promoción de la cooperación institucional y transfronteriza, especialmente en zonas compartidas. • Contribución al desarrollo sostenible, integrando el patrimonio como un recurso activo para la resiliencia.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Las emisiones de los grandes incendios forestales se contabilizan en la contabilidad nacional, específicamente a través de la contabilidad forestal y los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), dentro del sector Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF).
Déficits de información	• Mapas y catálogos específicos y actualizados sobre la ubicación, estado de conservación y vulnerabilidad de muchos bienes patrimoniales, especialmente en zonas rurales o transfronterizas. • Datos históricos sobre incendios pasados y sus impactos reales en bienes culturales. • Integración de conocimiento local y tradicional, sobre prácticas de manejo del territorio y prevención de incendios. • Conexión entre bases de datos culturales y ambientales. • Mapas de riesgos específicos para el patrimonio etnográfico.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.3. RC8.3 Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera

La subida del nivel del mar puede causar daños significativos al patrimonio histórico, resultando en pérdidas irreversibles de su valor cultural y arquitectónico. Este fenómeno amenaza con inundar y erosionar sitios históricos situados en la costa. Esta destrucción física de sus condiciones materiales puede hacer imposible la recuperación de su estado original. El valor del patrimonio está profundamente ligado a la autenticidad de los materiales originales y al contexto histórico en el que fueron creados. Si las estructuras son severamente dañadas o destruidas, cualquier intento de reconstrucción o restauración, aunque posible, no puede replicar completamente los materiales y/o técnicas originales, lo que compromete la autenticidad y el significado cultural.

Este riesgo está asociado el *RC6.1 Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo* del capítulo 6 - *Costas y medio marino*. Como se detalla en dicho capítulo, el riesgo de inundación y erosión por el ascenso del nivel del mar relativo podría llevar a la pérdida irreversible de zonas costeras (Nicholls *et al.,* 2021). En España hay cerca de 30.400 bienes de interés cultural (BIC) y más de la mitad de los declarados son inmuebles (monumentos, jardines históricos, etc.). Como veremos más adelante, probablemente una gran parte de los sitios culturales del Patrimonio Mundial se encuentra en zonas costeras, especialmente en el Mediterráneo, donde muchos de los asentamientos antiguos y actuales están ubicados apenas por encima del nivel del mar (Reimann *et al.,* 2018), sin embargo, actualmente no hay datos que evalúen el número de BIC afectados por este riesgo, por lo que sería necesario seguir investigando en esta dirección.

Uno de los pocos estudios en este sentido es el PIMA ADAPTA COSTAS de Canarias (2017-2021). Según este estudio, se estima que, en un contexto de cambio climático moderado (RCP4.5 y PR50), los efectos en el patrimonio cultural costero se manifiestan de manera progresiva y alarmante. Considerando las condiciones permanentes, como la subida del nivel del mar y la erosión estructural, se estima que 34 Bienes de Interés Cultural (BIC) perderán un total de 44,5 hectáreas bajo un escenario moderad. Sin embargo, si se consideran eventos marinos más frecuentes, como temporales con un periodo de retorno de 5 años, el impacto se intensifica: 82,3 hectáreas se verían afectadas en 38 BIC, un aumento de 16,4 hectáreas. En situaciones extremas, como temporales de baja frecuencia (100 años de periodo de retorno), la superficie afectada se elevaría a 109,2

hectáreas, impactando sobre 41 BIC. En un escenario más crítico (RCP8.5 y PR95) para 2050, los riesgos se acentúan. Las condiciones permanentes afectarían a 47,1 hectáreas (9,5 hectáreas más que hoy) en 34 BIC. Los temporales frecuentes (5 años) elevarían la superficie dañada a 88,2 hectáreas, afectando a 38 BIC, mientras que los eventos extremos (100 años) impactarían sobre 113,4 hectáreas, involucrando a 42 BIC.

Aunque con los datos existentes no es posible estimar actualmente el porcentaje del patrimonio que estaría afectado por este riesgo en España, se ha decidido priorizarlo teniendo en cuenta la valoración de otros criterios. Por ejemplo, en relación con la población potencialmente afectada, en España aproximadamente el 39,2% de la población vive en municipios costeros (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación, 2022), lo que equivale a unos 18,6 millones de personas según el censo de 2020. Además, las ciudades y poblaciones situadas en la costa española han experimentado durante las últimas décadas un importante desarrollo y crecimiento urbanístico, que han atraído incluso a población procedente de municipios del interior (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación, 2022).

Parte de este desarrollo se debe al turismo, que suele ser una fuente importante de ingresos para una comunidad, y el patrimonio cultural a menudo es un ingrediente importante del atractivo de estos espacios. Según el capítulo 6 - *Costas y medio marino*, el turismo costero y marino constituye un sector clave del PIB nacional, que aporta un 13,4 % y genera empleo en una proporción comparable (INE, 2024). La destrucción de sitios históricos y la pérdida de tradiciones pueden reducir el atractivo turístico y, por ende, afectar negativamente la economía local. Ya se ha mencionado anteriormente la significativa aportación del conjunto de actividades económicas vinculadas al patrimonio, archivos y bibliotecas al PIB y de las industrias turísticas en especial.

En este sentido, las comunidades que más dependen del turismo cultural y patrimonial pueden verse desproporcionadamente afectadas. La destrucción o daño de estos sitios puede llevar a una pérdida de ingresos y empleo, y afectar negativamente a la economía local y el bienestar de sus habitantes. En todo caso, y aunque se reconoce un peso creciente del turismo cultural en las motivaciones de los viajeros [según los datos del Ministerio de Cultura en 2023, el 18,4 % de los desplazamientos por ocio y vacaciones de los residentes nacionales y el 22,6 % de las visitas de turistas extranjeros se efectuaron con fines culturales, destacando el peso de la cultura como atracción turística (“Turismo cultural. Resultados”, n.d.)], actualmente no se dispone de información suficiente para distinguir sus efectos de forma separada de las motivaciones relacionadas con el turismo de sol y playa en las zonas litorales. Por otro lado, las áreas con menos recursos pueden tener más dificultades para implementar medidas de protección y restauración de los bienes, exacerbando las desigualdades existentes, pero no hay datos suficientes para cuantificarlo.

Como ya se ha mencionado, además del impacto económico, la pérdida de patrimonio cultural puede tener otras consecuencias significativas para la población. Una de las principales es la pérdida de identidad, que puede llevar a una sensación de desarraigo, afectar el bienestar emocional y debilitar los lazos comunitarios y la cohesión social.

Tal como se expone en el capítulo 6 - Costas y medio marino, el riesgo de daños directos a personas, ecosistemas y activos económicos, por inundaciones costeras asociadas a eventos extremos de nivel del mar, oleaje y viento, surge de la interacción entre múltiples factores climáticos y no climáticos. Entre los factores climáticos, destaca el aumento del nivel medio del mar local, impulsado por la expansión térmica del océano, la pérdida de masa de glaciares y capas de hielo, así como los cambios en el almacenamiento de agua terrestre (IPCC, 2023). A estos procesos se suman las proyecciones de cambios en la marea meteorológica, vinculados a patrones regionales de presión atmosférica y viento, así como en el régimen de oleaje, cuya energía y dirección pueden variar según el forzamiento climático (IPCC, 2022). Según PIMA ADAPTA COSTAS se prevé un incremento significativo en la subida del nivel del mar, de 26 cm para 2050, lo que obviamente afectará al patrimonio costero (PIMA ADAPTA COSTAS). Aunque no se dispone de datos específicos a corto plazo, las observaciones actuales indican que la erosión costera ya está afectando a estructuras históricas, como los búnkeres de Camposoto (Cádiz), el conjunto arqueológico de Tarraco, en Tarragona, o el yacimiento romano de la isla de Ons (Pontevedra).

Respecto a la capacidad de respuesta, aunque se están incorporando acciones encaminadas a la reducción del riesgo, existe todavía un amplio margen de mejora, especialmente en cuanto a la incorporación del ámbito del patrimonio cultural en los planes de adaptación. Entre las medidas que integran esta capacidad de respuesta, está la utilización de infraestructura verde o gris para proteger el patrimonio frente al aumento del nivel del mar, como demuestra, a una escala monumental, el impresionante proyecto MOSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico) que utiliza barreras móviles para proteger la ciudad de Venecia de las mareas altas.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), por su parte, identifica 5 objetivos relativos al patrimonio cultural que se pueden aplicar para este riesgo: la identificación de vulnerabilidades, la integración del cambio climático en planes de conservación, la recogida y transferencia del conocimiento vernáculo, la adaptación del turismo cultural y la cooperación internacional. Pero el sector sigue enfrentándose a dificultades para adaptarse a los cambios del entorno litoral motivados por el clima, ya sean puntuales y extremos o bien más lentos pero crónicos, como los asociados a la subida del mar. La ausencia de medidas físicas y técnicas adecuadas a la preservación del valor cultural incrementa su vulnerabilidad. Además, las instituciones encargadas de su protección suelen estar desconectadas de aquellas que tienen la capacidad de implementar medidas preventivas eficaces. La carencia de planes de emergencia específicos y la limitación

de los recursos destinados al patrimonio cultural pueden agravar aún más los daños, puesto que la adopción de medidas para reducir la vulnerabilidad a menudo se ve condicionada por la falta de conocimientos técnicos y por las dificultades de financiación, y, sin dichas medidas, los sitios patrimoniales siguen estando altamente expuestos a los riesgos. Aunque, poco a poco, va aumentando la conciencia sobre el peligro y el conocimiento, la capacidad para aprovechar nuevas tecnologías y métodos innovadores en la protección y restauración del patrimonio sigue siendo limitada, lo que incluye el uso de tecnologías de monitoreo, alerta temprana y técnicas avanzadas de conservación.

La **Figura 5** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y sobre él actúan las amenazas climáticas, vulnerabilidades y otros factores subyacentes que lo potencian. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

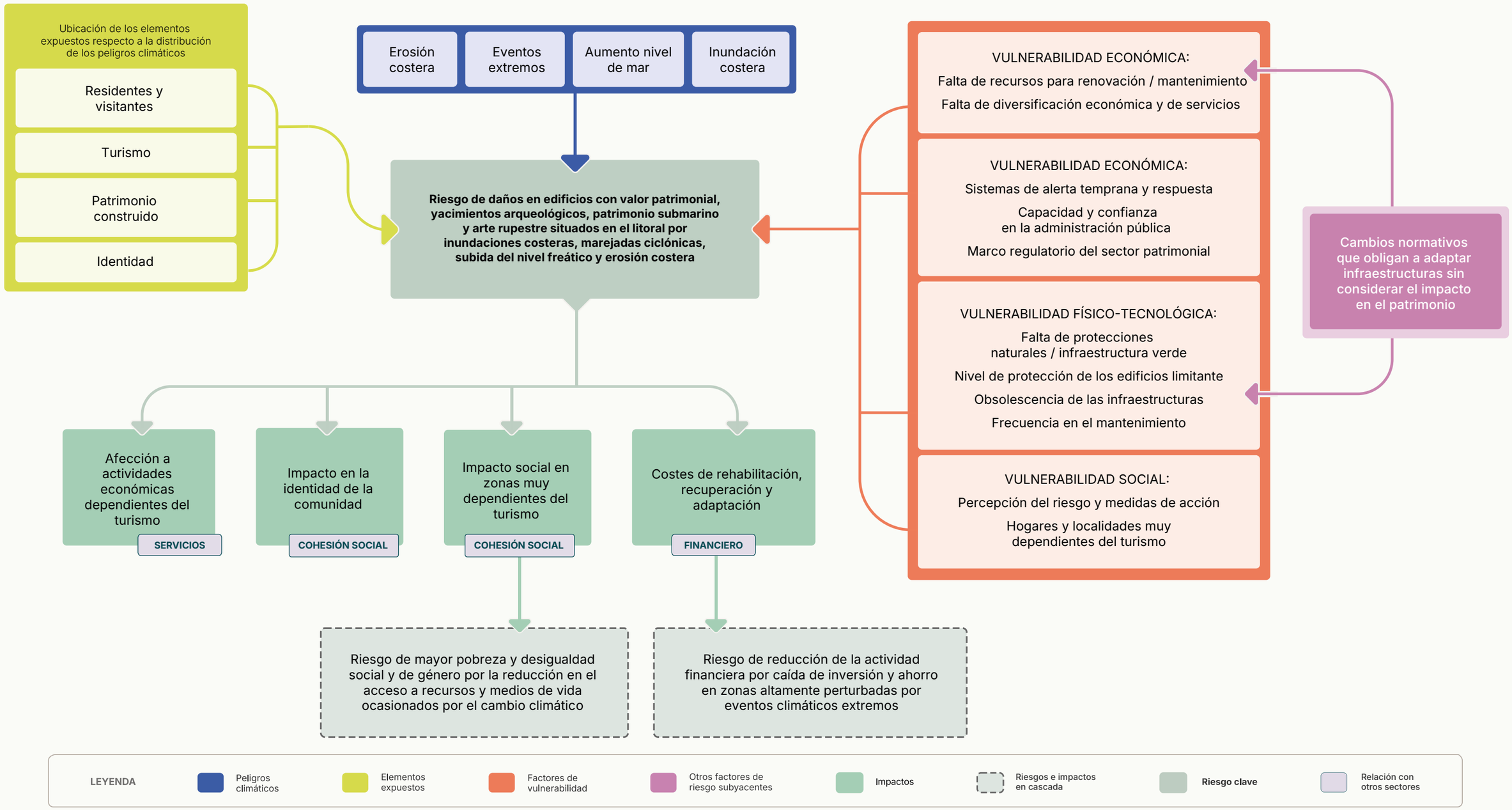


Figura 5. Cadena de impacto del riesgo clave RC.8.3.

Ficha 3. Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera. (RC8.3)

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Sustancial	Crítica	Crítica
	La pérdida permanente de superficie emergida ya se produce en playas, dunas, humedales y marismas, pero afecta a áreas relativamente limitadas. Según el "ATLAS europeo de tipologías de paisajes patrimoniales e impactos del cambio climático"[10], actualmente los paisajes históricos de más del 40 % de las regiones costeras (NUTS 3) españolas están en un nivel de peligro alto o muy alto de inundaciones costeras.	Aumento en la frecuencia de inundaciones costeras. Riesgo de pérdida irreversible de bienes situados en zonas costeras. Bajo escenarios de calentamiento global de 1.5 °C (SSP1-2.6), se proyecta que sitios como la Catedral, el Alcázar y el Archivo de Indias en Sevilla, así como La Lonja de la Seda en Valencia y el Palau de la Música Catalana y el Hospital de Sant Pau en Barcelona, podrían sufrir inundaciones permanentes o recurrentes (Hu and Hewitt, 2024b). Según el "ATLAS europeo de tipologías de paisajes patrimoniales e impactos del cambio climático, en el escenario climático" (ver nota al pie anterior) RCP 4.5 los paisajes históricos de más del 80 % de las regiones costeras (NUTS 3) españolas estarán en un nivel de peligro alto o muy alto de inundaciones costeras.	Escenarios similares a 1.5 °C, pero con mayor intensidad y frecuencia. Según PIMA ADAPTA COSTAS de Canarias (2017-2021), se estima que en un contexto de cambio climático moderado (RCP4.5 y PR50), los efectos en el patrimonio cultural costero se manifiestan de manera progresiva y alarmante con 44,5 ha afectadas en 34 BIC.	Bajo escenarios de emisiones altas, el riesgo se amplifica. Pérdida significativa de patrimonio cultural (p. ej.: inundación de cascos históricos). Según el "ATLAS europeo de tipologías de paisajes patrimoniales e impactos del cambio climático", en el escenario climático RCP 8.5 todas las regiones costeras (NUTS 3) españolas sufrirán más riesgo de inundaciones costeras. Según PIMA ADAPTA COSTAS, en un escenario RCP8.5, los efectos en el patrimonio cultural costero se manifiestan de manera progresiva y alarmante con 47.1 ha afectadas en 34 BIC.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[10] https://appwerescuemep01.azurewebsites.net/

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Alto	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio
	Estudios locales validan daños limitados en patrimonio costero. Consenso generalizado en el sector.	Proyecciones basadas en modelos de erosión y subida del nivel del mar, pero falta información sistemática sobre localización de los bienes que no sean Patrimonio Mundial.	Proyecciones de aumento del nivel medio del mar relativo con mayor incertidumbre. Incertidumbre también en el impacto sobre el patrimonio cultural. Consenso científico alto sobre tendencia general.	Escenarios de 4 °C implican incertidumbre alta. Consenso científico alto sobre dirección de cambio, pero menos en la magnitud.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Erosión Costera. • Eventos Extremos. • Aumento del nivel del mar. • Inundación Costera.	• Patrimonio costero.	• Falta de resiliencia de los sistemas naturales. • Nivel de protección de los edificios limitante. • Presión antrópica. • Falta de sistemas de alerta temprana y respuesta. • Falta de capacidad y confianza en la administración pública. • Límites regulatorios patrimoniales • Vulnerabilidad intrínseca de las comunidades locales: Edad y capacidad de los residentes. • Perfil del turista. • Falta de diversificación económica y de servicios. • Competitividad de destinos internacionales similares. • Percepción del riesgo y medidas de acción inadecuadas. • Hogares y localidades muy dependientes del turismo. • Temporalidad y precariedad del empleo turístico. • Falta de frecuencia de mantenimiento. • Obsolescencia de infraestructuras • Falta de resiliencia en infraestructuras y recursos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los bienes culturales muchas veces están ubicados en ecosistemas y paisajes culturales compartidos con otros países, y pueden verse afectados por eventos que no respetan fronteras administrativas. La falta de coordinación en la gestión del riesgo, las diferencias en capacidades técnicas y normativas, y la ausencia de protocolos comunes pueden dificultar una respuesta eficaz. Además, el daño a estos elementos patrimoniales puede tener repercusiones culturales, económicas y simbólicas más allá del territorio afectado.
Territoriales	El patrimonio cultural que podría verse afectado por inundaciones costeras se encuentra distribuido por todo el litoral español. España cuenta con una extensa franja costera expuesta a fenómenos de subida del nivel del mar, temporales marítimos y mareas extremas. Este riesgo puede ser especialmente relevante en comunidades autónomas con mayor longitud de costa y alta concentración de bienes patrimoniales en zonas bajas o urbanizadas, como Cataluña, Galicia, Comunidad Valenciana, Andalucía, Canarias y Baleares.
Sociales	Este riesgo puede tener mayores impactos en aquellas comunidades con mayor superficie litoral inundable, con mayor población o con mayor concentración de personas con escasos recursos económicos en zonas de costa (EEA, 2024). No obstante, más allá del impacto directo sobre la población, es importante considerar también el efecto que la pérdida de patrimonio puede tener sobre determinados grupos sociales, particularmente aquellos que dependen de dicho patrimonio para su identidad, cohesión comunitaria o sustento económico.
Maladaptación	La reconstrucción del patrimonio cultural dañado sin considerar la perspectiva de cambio climático puede dar lugar a daños recurrentes y mayores costes de mantenimiento, incluso a la pérdida irreversible de su valor patrimonial.
Género	La discriminación de género limita el control de las mujeres y niñas sobre las decisiones que afectan sus vidas, además de restringir su acceso a recursos y oportunidades. Esta situación incrementa su vulnerabilidad, resultando en tasas más altas de mortalidad, morbilidad y pérdida de medios de subsistencia durante los desastres (UNDRR, 2022c).
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	La magnitud de la inundación dependerá de la extensión de la zona inundada, de la altura y velocidad que alcance el agua, del tiempo de llegada de la inundación y de su tiempo de permanencia, de la cantidad de sólidos transportados, etc. Cuando el agua alcanza 1 m de altura se acumula el 80 % de los daños. A partir de esta altura, el agua puede causar también daños estructurales en los edificios. Por eso, en las normativas se suele utilizar el umbral de 1 m de altura de agua como una de las hipótesis de cálculo para determinar la zona afectada por graves daños por inundaciones (CCS, 2017).
Lock-in/Bloqueo	Marcos normativos y políticos obsoletos, así como legislaciones y regulaciones respecto al patrimonio cultural que no incorporan las estrategias de adaptación al cambio climático, pueden bloquear cambios necesarios.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Plan Nacional de Emergencias y Gestión de Riesgos en Patrimonio Cultural, impulsado por el Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE) y el Ministerio de Cultura.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración General del Estado: marco legal y coordinación de acciones a nivel nacional: · Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. · Ministerio de Cultura - Subdirección General de Gestión y Coordinación de Bienes Culturales. · Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). · Consorcio de Compensación de Seguros. · Confederaciones hidrográficas. • Comunidades autónomas: gestión del patrimonio, coordinación de emergencias, planificación territorial y sectorial. • Diputaciones: gestión del patrimonio, planes de emergencias y protección civil. • Ayuntamientos: planes especiales de conservación, planes locales de acción climática, planes de clima y energía (PACES), planes de emergencia municipales, PGOU, etc. • Empresas de saneamiento, drenaje, electricidad, transporte y comunicaciones. • Cuerpos de bomberos.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La conservación preventiva es una estrategia clave para proteger el patrimonio cultural frente a los efectos del cambio de humedad en los materiales; el monitoreo y la evaluación continua, conjuntamente con el control del entorno, pueden ser claves. Se pueden emplear materiales y técnicas de conservación que mejoren la resistencia de los elementos patrimoniales a los efectos del cambio climático, por ejemplo, el uso de materiales menos sensibles a los cambios de humedad y temperatura puede prolongar la vida útil de los objetos culturales. Pero sigue siendo necesario que se desarrollen planes de gestión de riesgos específicos para el patrimonio cultural, que incluyan medidas de prevención y respuesta ante desastres naturales como los causados por inundación o precipitaciones extremas.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Las necesidades económicas producidas por los daños derivados de los eventos extremos pueden reducir la capacidad de acción en términos económicos, retrasando la implementación de tecnologías más sostenibles y ralentizado el proceso hacia la descarbonización. • La incorporación de infraestructura verde para incrementar la permeabilidad y, por lo tanto, la resiliencia frente a inundaciones puede incrementar los sumideros de carbono urbanos.
Déficits de información	• Mapas de peligrosidad y riesgo de inundaciones sin considerar el patrimonio cultural. • Información de riesgo no adaptada suficientemente a las unidades geográficas provinciales, comarcales, municipales. • Insuficiente capacitación de la ciudadanía para responder adecuadamente a las situaciones de riesgo o emergencia en sitios patrimoniales.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase capítulo *Riesgos Complejos*), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el "grado de salida" señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el "grado de entrada" identifica aquellos más expuestos a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial de Patrimonio Cultural se basa en los resultados obtenidos en este análisis general de riesgos complejos. A continuación, se presentan los grafos de cada riesgo clave en este sector (ver de la **Figura 6** a la**Figura 8**).

El primero de los riesgos clave analizados es el *Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales* (RC8.1) que tiene grado de entrada 1 y grado de salida 0 (**Figura 6**).

El *Riesgo de daños en elementos del patrimonio etnográfico material y en los paisajes culturales debido al mayor riesgo de incendios asociado al cambio climático (RC 8.2)* tiene grado de entrada 2 y grado de salida 0 (**Figura 7**).

El *Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del mar y erosión costera (RC8.3)* tiene grado de entrada 1 y grado de salida 1 (**Figura 8**).

Figura 6. Grafo del el Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales (RC8.1). Fuente: capítulo de Riesgos complejos.

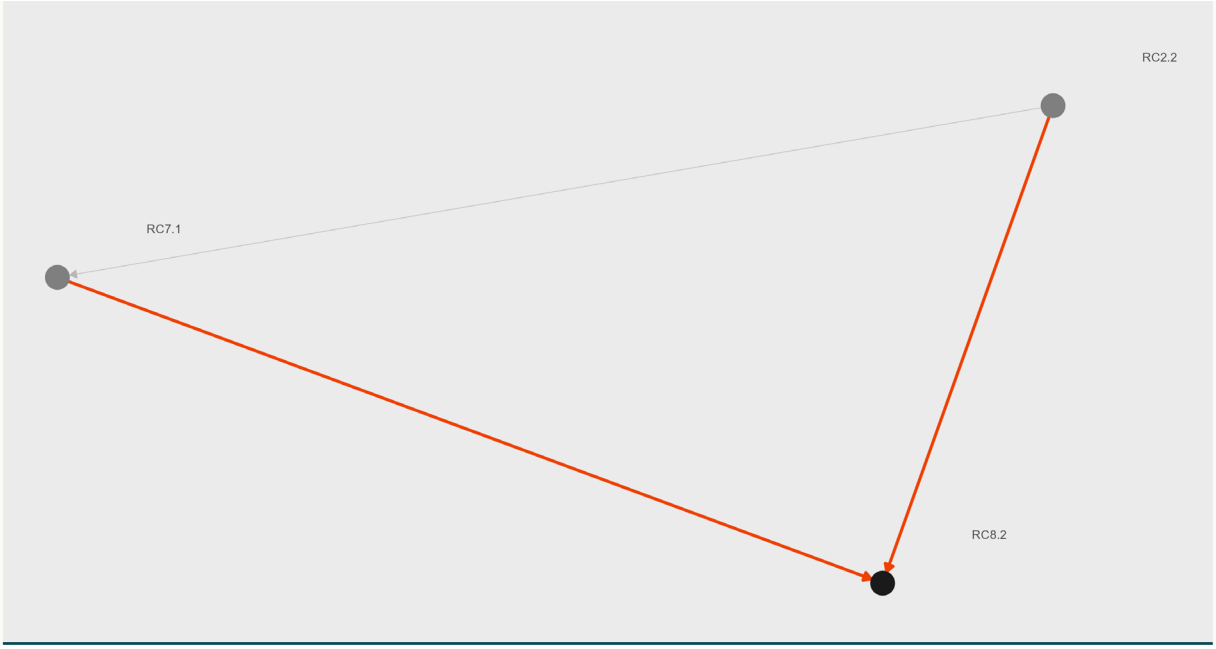


Figura 7. Grafo del Riesgo de daños en elementos del patrimonio etnográfico material y en los paisajes culturales debido al mayor riesgo de incendios asociado al cambio climático (RC 8.2). Fuente: capítulo de Riesgos complejos.

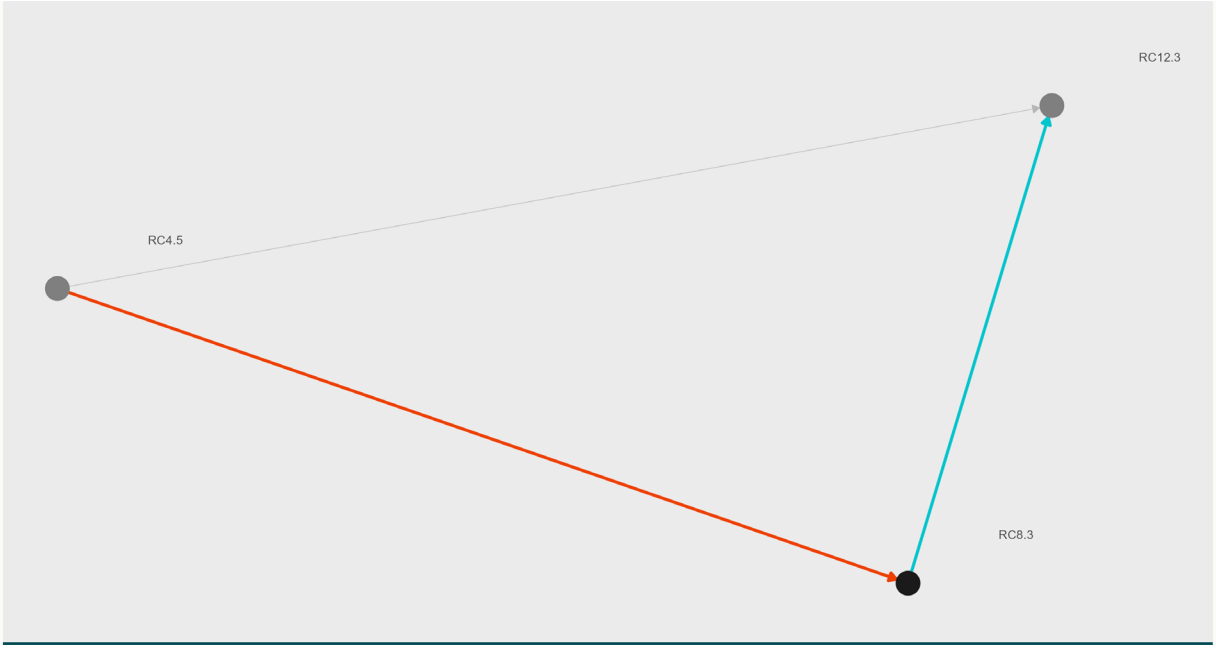


Figura 8. Grafo del Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del mar y erosión costera (RC8.3). Fuente: capítulo de Riesgos complejos.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 5. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial de Patrimonio Cultural.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC8.1 Riesgo de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos histórico debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales.	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼
RC8.2 Riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios.	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼
RC 8.3 Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera.	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼

6. Caso de estudio

El caso de estudio “Guía De Adaptación Al Cambio Climático En El Camino De Santiago Francés” ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, ya que aporta un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de patrimonio cultural. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Guía de adaptación al Cambio Climático en el Camino de Santiago Francés

Objeto

- Este proyecto tiene como objetivo principal desarrollar una guía de adaptación al cambio climático en el Camino de Santiago Francés. La guía persigue generar oportunidades de concienciación y atracción de peregrinos, promover prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente y sensibilizar a las comunidades locales y autoridades sobre la importancia de la adaptación al cambio climático.

Descripción:

- Proyecto financiado por la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la convocatoria de subvenciones para la realización de proyectos que contribuyan a implementar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030. La guía recoge los 24 tipos de paisajes del Camino, con sus 69 unidades paisajísticas distintas, a lo largo de cinco regiones y 173 municipios, y ofrece un compendio de

Ámbito Territorial:

- En su tramo español, el Camino Francés abarca las siguientes comunidades autónomas (CCAA): Navarra, La Rioja, Castilla y León y Galicia, atravesando desde Pamplona hasta Santiago de Compostela, con una distancia aproximada de 790 km.

Sector(es)/subsector:

- Patrimonio Cultural.

Entidad(es) del proyecto:

- Fundación Santa María la Real.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

39 prácticas tradicionales, así como usos y saberes vernáculos, que ofrecen estrategias reales y eficaces para la adaptación al cambio climático. El proyecto parte de una caracterización paisajística y territorial del Camino, combinada con trabajo documental y consulta con agentes locales para la identificación y validación de prácticas vernáculas adaptativas. El análisis se complementa con criterios técnicos y de viabilidad de integración en estrategias de gestión territorial y cultural.

Aspectos destacables

- Proyecto pionero al presentarse como una herramienta para fortalecer la adaptación del territorio, rescatando saberes y prácticas que, a lo largo de los siglos, han demostrado ser sostenibles y eficaces con el objetivo de promover la colaboración, compartir experiencias y asegurar la conservación de un legado natural y cultural único, garantizando que las futuras generaciones puedan seguir disfrutando de un Camino vivo y sostenible.

Escala:

- Transregional.

Riesgo(s):

- Vulnerabilidad de las rutas históricas al cambio climático.
- Aumento de temperaturas y olas de calor que afectan a peregrinos y entornos expuestos.
- Sequías prolongadas con impacto en fuentes, vegetación y sistemas agrícolas tradicionales.
- Incendios forestales en tramos rurales y boscosos del Camino.
- Episodios de lluvias intensas y escorrentías que erosionan tramos históricos.
- Pérdida de biodiversidad y de la funcionalidad de los paisajes culturales.
- Riesgo de pérdida de saberes tradicionales vinculados a la gestión resiliente del medio.

Enlaces:

- Guía de adaptación al Cambio Climático en el Camino de Santiago Francés (Guía Adaptación en el CDS) - Fundación Biodiversidad
- Publicamos una guía de adaptación al cambio climático para el Camino de Santiago Francés - Fundación Santa María la Real

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

En este capítulo se han expuesto los principales riesgos climáticos del sector del patrimonio cultural en España, así como su interrelación con los riesgos de otros ámbitos, con el fin de poder orientar la adaptación en su planificación y gestión. Asimismo, se han identificado una serie de riesgos clave a partir de la información existente y se ha realizado una valoración de los mismos en clave de urgencia con el fin de destacar aquellos riesgos que requieren de una atención prioritaria en el siguiente ciclo de planificación.

Para conocer la limitación de los resultados de este capítulo es conveniente indicar ciertos condicionantes encontrados a lo largo del proceso, que están principalmente vinculados con la información disponible. Tal como hemos mencionado, a pesar del creciente interés académico por los impactos del cambio climático sobre el patrimonio cultural, aún se observa una notable ausencia de estudios integrales que aborden esta temática en diferentes continentes y desde diversas disciplinas. Los estudios cuantitativos de estos impactos son muy escasos a nivel global (la investigación está centrada principalmente en Europa y América del Norte, con una concentración significativa en el Reino Unido y Estados Unidos) y son mínimos en España. Existen además múltiples barreras, limitaciones y restricciones para la preservación y adaptación del patrimonio frente a los impactos climáticos que no han sido suficientemente exploradas en la literatura, por lo que se requiere más investigación que permita profundizar en los beneficios y oportunidades que estas acciones pueden ofrecer a las comunidades y a los actores implicados. Estas limitaciones son especialmente acuciantes cuando nos referimos al patrimonio intangible en particular.

Limitaciones relativas a las fuentes utilizadas

Las dos fuentes principales que se han utilizado como punto de partida para todos los sectores analizados, el *Diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*, elaborado en 2021, y la información recopilada en la plataforma AdapteCCa, son limitadas en lo que respecta a documentar el sector del patrimonio cultural[11]. El primero solo menciona el patrimonio

[11] Es importante mencionar que, aunque los resultados de la convocatoria PIMA ADAPTA 2023 del ámbito Patrimonio Cultural no han estado disponibles en el momento de la redacción de este informe, se espera que esté disponible al momento de su publicación final.

dentro del sector del turismo y la segunda recopila fundamentalmente referencias globales cualitativas. Se han complementado estas fuentes con artículos científicos, mayoritariamente de ámbito internacional, así como con informes no académicos de instituciones públicas como el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y el Instituto Nacional de Estadística.

Otra fuente clave para abordar el marco metodológico es el *Sexto Informe de Evaluación del IPCC* (IPCC, 2022), que constituye el pilar central en la evaluación de riesgos presentada en este capítulo. Asimismo, el diseño del marco de evaluación se ha enriquecido con otras fuentes relevantes, como la *Guía Técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático* de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022), el diagnóstico de riesgos climáticos desarrollado para Europa por la Agencia Europea de medio Ambiente (EEA, 2024) y el enfoque metodológico aplicado en la evaluación nacional de riesgos del Reino Unido.

Por lo general, la identificación de los riesgos relevantes se ha basado en estudios que identifican y valoran los impactos climáticos del sector de forma cualitativa a partir de impactos climáticos pasados y de las vulnerabilidades que muestra el sector. Como ha quedado claro a lo largo de todo el capítulo, la cuantificación de los impactos y riesgos específicos para el patrimonio cultural sigue siendo muy limitada.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El análisis multicriterio (AMC) realizado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por (Field *et al.,* 2012), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, a las características temporales del riesgo, a los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. No obstante, gran parte de los datos disponibles no están calculados específicamente para el patrimonio cultural. Esto ha dificultado, en más de una ocasión, asignar puntuaciones a los criterios con el nivel de precisión deseado. En este contexto, ha sido necesario complementar el análisis recurriendo al juicio de expertos. Hay que señalar igualmente que las puntuaciones asignadas a los criterios utilizados para esta priorización han podido divergir en algunas situaciones, lo que ha requerido buscar cierto consenso entre las personas encargadas de dicha evaluación.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

La limitada disponibilidad de información, hasta la fecha, dificulta una caracterización precisa de los riesgos clave, especialmente en lo que respecta a aspectos como los umbrales críticos de

riesgo o las dimensiones de género. Además, en la mayoría de los apartados analizados no se ha incorporado información específica del sector patrimonial; en su lugar, se han realizado inferencias a partir de los peligros generales que no siempre tienen una traslación directa al contexto del patrimonio cultural. Por ello, los datos presentados deben entenderse como una aproximación inicial, siendo fundamental continuar generando conocimiento específico que permita profundizar en la comprensión y gestión de los riesgos climáticos en este ámbito.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Los estudios previamente descritos se centran en la evaluación de un determinado peligro climático y en aspectos particulares del sector. Por ello, no se han encontrado análisis con una visión de conjunto de los riesgos e impactos del sector, especialmente en aquellos con alto potencial de que sean compuestos, lo que dificulta reflejar la realidad del sector.

En este sentido, existe una necesidad urgente de ampliar el conocimiento de las relaciones entre los riesgos del mismo sector y entre los distintos sectores. Esto permitirá una mejor comprensión de cómo los riesgos compuestos pueden afectar al sector en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y efectivas.

8. Referencias

- Abatzoglou, J.T., Kolden, C.A., Cullen, A.C., Sadegh, M., Williams, E.L., Turco, M., Jones, M.W., 2025. Climate change has increased the odds of extreme regional forest fire years globally. Nat Commun 16, 6390. https://doi.org/10.1038/s41467-025-61608-1
- Abatzoglou, J.T., Williams, A.P., Boschetti, L., Zubkova, M., Kolden, C.A., 2018. Global patterns of interannual climate–fire relationships. Global Change Biology 24, 5164–5175. https://doi.org/10.1111/gcb.14405
- AEMET, n.d. Estadística del índice meteorológico de riesgo de incendios.
- Aparício, B.A., Santos, J.A., Freitas, T.R., Sá, A.C.L., Pereira, J.M.C., Fernandes, P.M., 2022. Unravelling the effect of climate change on fire danger and fire behaviour in the Transboundary Biosphere Reserve of Meseta Ibérica (Portugal-Spain). Climatic Change 173, 5. https://doi.org/10.1007/s10584-022-03399-8
- Ballard, C., Baron, N., Bourgès, A., Bucher, B., Cassar, M., Daire, M.-Y., Daly, C., Egusquiza, A., Fatoric, S., Holtorf, C., Kosian, M., Lefèvre, R.-A., Lopez-Romero, E., Orr, S.A., Svensson, E., Verney-Carron, A., Vernimme, N., Viovy, N., 2022. Cultural Heritage and Climate Change: New challenges and perspectives for research.
- Baraja Rodríguez, E., Martínez Arnáiz, M., Herrero Luque, D., Frolova Ignatieva, M., 2024. Transición energética en España: energías renovables y paisaje. Una visión desde la geografía española. Universidad de Granada 22. https://doi.org/10.7419/162.18.2024
- Betts, R.A., Brown, K., 2021. The Third UK ClimateChange Risk Assessment Technical Report.
- Bodas Jiménez, L., 2021. Gestión del Riesgo de Desastres para el Patrimonio Mundial.
- Bravo, E.M., 2017. Elaboración de la guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios.
- Brimblecombe, P., Grossi, C.M., Harris, I., 2011. Climate Change Critical to Cultural Heritage: International Conference on Environment: Survival and Sustainability. Survival and Sustainability, Environmental Earth Sciences 195–205. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95991-5_20
- Camia, A., Libertà, G., San-Miguel-Ayanz, J., 2016. Modeling the impacts of climate change on forest fire danger in Europe: Sectorial results of the PESETA II Project. Publications Office of the European Union.
- Campos Rodrigues, L., Puig Ventosa, I., 2023. Adaptación al cambio climático de zonas urbanas costeras con elevada densidad de población e interés turístico y cultural en España: el caso del lobo. ET 9–27. https://doi.org/10.61520/et.2102016.125
- Cardil, A., Eastaugh, C.S., Molina, D.M., 2015. Extreme temperature conditions and wildland fires in Spain. Theor Appl Climatol 122, 219–228. https://doi.org/10.1007/s00704-014-1295-8
- Carrera Díaz, G., Fernández Cacho, S., Díaz Iglesias, J.M., Rodrigo Cámara, J.M., 2024. PACTO: paisajes culturales, conocimientos tradicionales y cambio climático | revista PH. https://doi.org/10.33349/2024.112.5586
- Castillo Ruiz, J., n.d. Cultivando el agua. Valoración y protección de los sistemas históricos de riesgo: el caso de la Vega de Granada. Universidad de Granada.

- Castro, D.A.T., Souza, P.G., 2022. Mapeo de riesgos participativo para patrimonio cultural. El caso de Tehuantepec, Oaxaca, México. Intervención, Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología 1, 271–321. https://doi.org/10.30763/Intervencion.267.v1n25.46.2022
- CCS, 2017. Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones. Madrid.
- Climate change and adaptation on cultural heritage in the face of sea level rise. A perspective from insularity [WWW Document], 2020. ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/publication/357434787_Climate_change_and_adaptation_on_cultural_heritage_in_the_face_of_sea_level_rise_A_perspective_from_insularity (accessed 7.18.25).
- Climate change impacts, risks and adaptation [WWW Document], 2025. URL https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/climate-change-impacts-risks-and-adaptation (accessed 7.21.25).
- Costa, E.B. da, 2018. Riesgos y potenciales de preservación patrimonial en América Latina y el Caribe. Investigaciones Geográficas. https://doi.org/10.14350/rig.59593
- Cultural Heritage and Climate Change: New challenges and perspectives for research, 2022. JPI Cultural Heritage.
- EEA, 2024. European Climate Risk Assessment.
- Eklund, G., Sibilia, A., Salvi, A., Antofie, T.E., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z., Corbane, C., 2023. Towards a European wide vulnerability framework A flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. ResearchGate. https://doi.org/10.2760/353889
- EPData, 2021. Bienes culturales y patrimonio en España, datos y gráficos [WWW Document]. URL https://www.epdata.es/datos/bienes-culturales-patrimonio-espana-datos-graficos/358 (accessed 9.29.25).
- European Commission. Joint Research Centre., 2020. European wildfire danger and vulnerability in a changing climate: towards integrating risk dimensions: JRC PESETA IV. Project: Task 9 forest fires. Publications Office, LU.
- EXCELTUR, 2024. Perspectivas turísticas. Valoración turística empresarial de 2023 y perspectivas para 2024. (No. 87).
- Fatorić, S., Seekamp, E., 2017. Are cultural heritage and resources threatened by climate change? A systematic literature review. Climatic Change 142, 227–254. https://doi.org/10.1007/s10584-017-1929-9
- Felipe Pérez, B., 2018. Informe migraciones climáticas ECODES.
- Fenggui, L., Zhang, Y., Feng, Z., Guangliang, H., Zhou, Q., Zhang, H., 2010. The impacts of climate change on the Neolithic cultures of Gansu-Qinghai region during the late Holocene Megathermal. ResearchGate. https://doi.org/10.1007/s11442-010-0417-1
- Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Dahe, Q. (Eds.), 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1st ed. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/cbo9781139177245
- Fundación AON, 2023. Barómetro de las Catástrofes en España 2022.
- García Sánchez, F., García Sánchez, H., 2020. Climate change and adaptation on cultural heritage in the face of sea level rise. A perspective from insularity, Construction pathology, rehabilitation technology and heritage management (REHABEND 2020). Book of abstracts.

- Gobierno de Canarias, 2021. Evaluación del riesgo frente al cambio climático en las costas de Canarias (Informe Resumen).
- Gomez-Heras, M., McCabe, S., 2015. Weathering of stone-built heritage: A lens through which to read the Anthropocene. Anthropocene 11, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2015.12.003
- Greenpeace, 2024. España supera el umbral sostenible de consumo de agua. ES | Greenpeace España. URL https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/espana-supera-el-umbral-sostenible-de-consumo-de-agua/ (accessed 7.21.25).
- Guidance on Risk Management Integration and Disclosure, 2020.
- Hu, H., Hewitt, R.J., 2024a. Understanding climate risks to world cultural heritage: a systematic analysis and assessment framework for the case of Spain. Herit Sci 12, 194. https://doi.org/10.1186/s40494-024-01299-x
- Hu, H., Hewitt, R.J., 2024b. Future climate risks to world cultural heritage sites in Spain: A systematic analysis based on shared socioeconomic pathways. International Journal of Disaster Risk Reduction 113, 104855. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104855
- ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group. 2019. The Future of Our Pasts: Engaging.
- Cultural Heritage in Climate Action, July 1, 2019. Paris: ICOMOS.
- IDMC, 2025. 2025 Global Report on Internal Displacement (GRID). Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC). https://doi.org/10.55363/IDMC.XTGW2833
- INE, 2024. Nota de Prensa: Cuenta Satélite de Turismo de España. Serie 2019-2022 [WWW Document]. URL https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736169169&menu=ultiDatos&idp=1254735576581 (accessed 9.29.25).
- Instituto Nacional de Estadística, 2019. Tabla 7. Empleo en las industrias turísticas por tipo de indicador, periodo y ramas de actividad.
- IPCC (Ed.), 2023. Ocean, Cryosphere and Sea Level Change, in: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1211–1362. https://doi.org/10.1017/9781009157896.011
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- Jaramillo Morilla, A., Mascort-Albea, E.J., Romero-Hernández, R., Soriano-Cuesta, C., 2022. Climate change impacts on cultural heritage building foundations in Western Andalusia. CRC Press/Balkema.
- Jones, M.W., Abatzoglou, J.T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., Smith, A.J.P., Burton, C., Betts, R.A., van der Werf, G.R., Sitch, S., Canadell, J.G., Santín, C., Kolden, C., Doerr, S.H., Le Quéré, C., 2022. Global and Regional Trends and Drivers of Fire Under Climate Change. Reviews of Geophysics 60, e2020RG000726. https://doi.org/10.1029/2020RG000726
- La desertificación en España, en datos y gráficos [WWW Document], 2021. URL https://www.epdata.es/datos/desertificacion-espana-datos-graficos/393 (accessed 7.21.25).

- Leissner, J., Kilian, R., Kotova, L., Jacob, D., Mikolajewicz, U., Broström, T., Ashley-Smith, J., Schellen, H.L., Martens, M., van Schijndel, J., Antretter, F., Winkler, M., Bertolin, C., Camuffo, D., Simeunovic, G., Vyhlídal, T., 2015. Climate for Culture: assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations. Herit Sci 3, 38. https://doi.org/10.1186/s40494-015-0067-9
- López-Romero, E., Asins, S., Díez, A., Sastre, I., 2024. Patrimonio cultural en riesgo. Retos de adaptación al cambio climático. CSIC.
- Martínez Durán, A., Villaverde Rey, M., 2021. Paisajes rurales y energías renovables. Un patrimonio cultural bajo amenaza. Revista PH 434–437. https://doi.org/10.33349/2021.104.4986
- Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación, 2019. Los Incendios Forestales en España.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación, 2022. Análisis y Prospectiva – Serie Pesca nº5. Demografía de la población costera en 2020.
- Ministerio de Cultura, 2024. Cuenta Satélite de la Cultura en España. Resultados [WWW Document]. URL https://www.cultura.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/cultura/mc/culturabase/cuenta-satelite/resultados-cuenta-satelite.html (accessed 7.15.25).
- Ministerio de Interior, n.d. Lluvias intensas [WWW Document]. DGPCyE. URL https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-de-riesgos/meterologicos/lluvias-intensas (accessed 7.21.25a).
- Ministerio de Interior, n.d. Incendios forestales [WWW Document]. DGPCyE. URL https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-de-riesgos/incendios-forestales (accessed 7.21.25b).
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008. Programa De Acción Nacional Contra La Desertificación.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022. Octava comunicación nacional de España.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022. Resumen ejecutivo de los planes de gestión del riesgo de inundación de segundo ciclo (2022-2027) en las cuencas intercomunitarias.
- MITECO, 2025. Avance Informativo de Incendios Forestales del 1 de enero Al 31 de diciembre De 2024.
- MITECO, 2024. Las migraciones climáticas y el marco normativo del cambio climático. Entre la adaptación y las pérdidas y daños.
- MITECO, 2021. Resumen Ejecutivo De La Caracterización De La Peligrosidad Y Riesgo Por Inundación Fluvial En Los Pgri De 2º Ciclo En Las Cuencas Intercomunitarias (2022-2027).
- MITECO, n.d. Número y Km. de subtramos de ARPSI por Comunidad Autónoma.
- Moreno, M., Bertolín, C., Arlanzón, D., Ortiz, P., Ortiz, R., 2023. Climate change, large fires, and cultural landscapes in the mediterranean basin: An analysis in southern Spain. Heliyon 9, e16941. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16941
- Nguyen, K.N., Baker, S., 2023. Climate Change and UNESCO World Heritage-Listed Cultural Properties: A Systematic Review, 2008–2021. Heritage 6, 2394–2420. https://doi.org/10.3390/heritage6030126
- Nicholls, R.J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., Vafeidis, A.T., Meyssignac, B., Hanson, S.E., Merkens, J.-L., Fang, J., 2021. A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. Nat. Clim. Chang. 11, 338–342. https://doi.org/10.1038/s41558-021-00993-z

- ÖNÜR, Ö.Ö., 2025. Effects Of Climate Change on Historical Building Materials: Assessment and Sustainable Conservation Solutions. JMCA 3, 1–16. https://doi.org/10.5281/zenodo.15322241
- Orr, S.A., Richards, J., Fatorić, S., 2021. Climate Change and Cultural Heritage: A Systematic Literature Review (2016–2020). The Historic Environment: Policy & Practice 12, 434–477. https://doi.org/10.1080/17567505.2021.1957264
- Ortega-Becerril, J.A., Suarez, C., Vázquez-Tarrío, D., Garrote, J., Gomez-Heras, M., 2024. Sediment Response after Wildfires in Mountain Streams and Their Effects on Cultural Heritage: The Case of the 2021 Navalacruz Wildfire (Avila, Spain). Fire 7, 52. https://doi.org/10.3390/fire7020052
- Pozo, J.X.O., Boqué-Ciurana, A., Borraz, Ò.S., 2024. Actionable Climate Information to take decisions: Firts insights of the co-created climate indices for cultural outdoor activities in Catalonia. https://doi.org/10.5194/ems2024-692
- Quesada-Ganuza, L., Garmendia, L., Roji, E., Gandini, A., 2021. Do we know how urban heritage is being endangered by climate change? A systematic and critical review. International Journal of Disaster Risk Reduction 65, 102551. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102551
- Reeder-Myers, L., 2015. Cultural Heritage at Risk in the Twenty-First Century: A Vulnerability Assessment of Coastal Archaeological Sites in the United States. ResearchGate. https://doi.org/10.1080/15564894.2015.1008074
- Reimann, L., Vafeidis, A.T., Brown, S., Hinkel, J., Tol, R.S.J., 2018. Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise. Nat Commun 9, 4161. https://doi.org/10.1038/s41467-018-06645-9
- Reisinger, A., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., Mach, K.J., Mintenbeck, K., O'Neill, B., Pathak, M., Pedace, R., Pörtner, H.-O., Poloczanska, E., Corradi, M.R., Sillmann, J., van Aalst, M., Viner, D., Jones, R., Ruane, A.C., Ranasinghe, R., 2020. The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-Working Group discussion. IPCC.
- RescueME [WWW Document], n.d. URL https://appwerescuemep01.azurewebsites.net/ (accessed 7.18.25).
- Rodrigues, M., Cunill Camprubí, À., Balaguer-Romano, R., Coco Megía, C.J., Castañares, F., Ruffault, J., Fernandes, P.M., Resco de Dios, V., 2023. Drivers and implications of the extreme 2022 wildfire season in Southwest Europe. Science of The Total Environment 859, 160320. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160320
- Rodríguez-Rosales, B., Abreu, D., Ortiz, R., Becerra, J., Cepero-Acán, A.E., Vázquez, M.A., Ortiz, P., 2021. Risk and vulnerability assessment in coastal environments applied to heritage buildings in Havana (Cuba) and Cadiz (Spain). Science of The Total Environment 750, 141617. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141617
- Ronco, P., Gallina, V., Torresan, S., Zabeo, A., Semenzin, E., Critto, A., Marcomini, A., 2014. The KULTURisk Regional Risk Assessment methodology for water-related natural hazards – Part 1: Physical–environmental assessment. Hydrology and Earth System Sciences 18, 5399–5414. https://doi.org/10.5194/hess-18-5399-2014
- Russo, A., Gouveia, C.M., Páscoa, P., DaCamara, C.C., Sousa, P.M., Trigo, R.M., 2017. Assessing the role of drought events on wildfires in the Iberian Peninsula. Agricultural and Forest Meteorology 237–238, 50–59. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.021

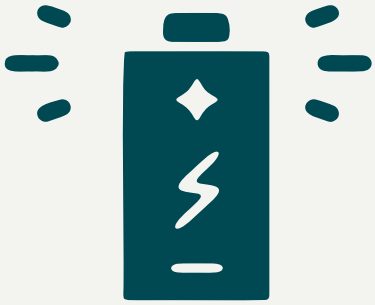
- Sanz, M.J., Galán, E., 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Severino, L.G., Kropf, C.M., Afargan-Gerstman, H., Fairless, C., de Vries, A.J., Domeisen, D.I.V., Bresch, D.N., 2024. Projections and uncertainties of winter windstorm damage in Europe in a changing climate. Natural Hazards and Earth System Sciences 24, 1555–1578. https://doi.org/10.5194/nhess-24-1555-2024
- Spinoni, J., Formetta, G., Mentaschi, L., Forzieri, G., Feyen, L., 2020. Global warming and windstorm impacts in the EU: JRC PESETA IV project: Task 13. Publications Office of the European Union, LU.
- Turco, M., Rosa-Cánovas, J.J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J.P., Llasat, M.C., Provenzale, A., 2018. Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models. Nat Commun 9, 3821. https://doi.org/10.1038/s41467-018-06358-z
- Turismo cultural. Resultados [WWW Document], n.d. URL https://www.cultura.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/cultura/mc/culturabase/turismo-cultural/resultados-turismo.html (accessed 7.21.25).
- UNDRR, 2022a. Technical guidance on comprehensive risk assessment and planning in the context of climate change, UNDRR. ed.
- UNDRR, 2022b. Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- UNDRR, 2022c. Reducción del riesgo de desastres con perspectiva de género. Nota de orientación.
- UNESCO, 2024. Guía para la gestión del riesgo de incendios: protección del patrimonio cultural y natural contra los incendios.
- UNESCO, 2003. Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial - UNESCO Biblioteca Digital [WWW Document]. URL https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000132540_spa (accessed 7.18.25).
- UNESCO, Sánchez Pérez-Moneo, L., 2009. Los paisajes culturales: una gestión inteligente del Patrimonio Mundial. Revista del patrimonio mundial: número especial, 53 - UNESCO Biblioteca Digital.
- UNESCO World Heritage Centre, 2007. Climate Change and World Heritage. UNESCO World Heritage Centre.
- Urbieta, I.R., Franquesa, M., Viedma, O., Moreno, J.M., 2019. Fire activity and burned forest lands decreased during the last three decades in Spain. Annals of Forest Science 76, 1–13. https://doi.org/10.1007/s13595-019-0874-3
- Voices of Culture, 2021. Culture and the United Nations Sustainable Development Goals. Goethe Institut.
- Wang, J.-J., 2015. Flood risk maps to cultural heritage: Measures and process. Journal of Cultural Heritage 16, 210–220. https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.03.002
- World Tourism Organization, 2018. Tourism and Culture Synergies, https://doi.org/10.18111/9789284418978.

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Energía



GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autores: Elena Turienzo López (Tecnalia)

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda (Tecnalia), Efrén Feliu Torres (Tecnalia)

Agradecimientos: Pedro Linares Llamas (Universidad Pontificia Comillas)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Turienzo, E. (2025). Energía. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 966

2. Introducción / pág. 968

3. Riesgos relevantes del sector de Energía / pág. 971

4. Riesgos clave del sector de Energía / pág. 983

4.1. RC9.1: Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos / pág. 984

4.2. RC9.2: Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica / pág. 997

4.3. RC9.3: Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas / pág. 1008

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 1020

6. Caso de estudio / pág. 1024

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 1026

8. Referencias / pág. 1030

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial de Energía de la Evaluación Nacional de los Riesgos e Impactos del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (IPCC, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (*p. ej.* alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intrasectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos**. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Ese mismo capítulo también incluye un Glosario de los términos más comunes, mientras que las definiciones de los términos específicos del sector se incluyen en este capítulo como notas a pie de página.

2. Introducción

En esta sección se hace una primera identificación de los principales riesgos del cambio climático sobre el sector energético. Tras una breve descripción del sector, se presenta el modelo conceptual utilizado para la identificación de los riesgos, así como sus componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. A continuación, se describe el resultado de este proceso y finalmente se incluye el listado de los riesgos relevantes identificados, a partir del cual se han seleccionado los riesgos clave.

El sector de la energía tiene una importancia estratégica a nivel global, jugando un papel esencial en la economía mundial y el desarrollo de las sociedades actuales, donde la práctica totalidad de los sectores económicos y sociales se encuentran vinculados a él de manera directa o indirecta.

Se trata de un sector que engloba una amplia gama de actividades en las distintas etapas que componen su cadena de valor, incluyendo la producción, distribución y consumo de petróleo, gas, carbón y electricidad, representando más de tres cuartas partes de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial (IEA, 2024a).

Impulsada por la creciente conciencia sobre el cambio climático, los avances tecnológicos y las políticas gubernamentales, en los últimos años está teniendo lugar una transición del sector hacia el uso de fuentes de energía más limpias y sostenibles. Con ello se buscan varios objetivos, incluyendo la modernización y descarbonización de la economía, la mejora de la seguridad energética mediante la reducción de la dependencia de las importaciones y la optimización de la garantía de suministro, la mejora de la calidad del aire y la mitigación del cambio climático.

Históricamente, España se ha caracterizado por su escasez de recursos energéticos fósiles autóctonos preponderantes en su mix energético en el pasado. Esto se ha traducido en una gran dependencia exterior (Sanz & Galán, 2021). El grado de dependencia energética fue de alrededor del 68,6 % en 2023, importando alrededor de tres cuartas partes de la energía primaria consumida (MITECO, 2023). En este contexto, la evolución hacia una energía más limpia y respetuosa con el medio ambiente ha sido una prioridad, marcando hitos significativos hacia un futuro sostenible del sector donde las energías renovables tienen un papel protagonista (Ambientum, 2024). Ello ha llevado al sector energético español a situarse como uno de los más sostenibles del mundo según el "World Energy Trilemma Index 2024", ocupando el puesto número 13 a nivel global (World Energy Council, 2025).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) (World Meteorological Organization, 2022) subrayó la urgencia de aumentar significativamente el suministro de energía de origen renovable

para mitigar un cambio climático que puede poner en peligro la seguridad energética. En línea con esta preocupación, en la Cumbre del Clima COP28 se adoptó el compromiso global de triplicar la capacidad instalada de energías renovables para 2030, como parte de los esfuerzos para mantener el objetivo del Acuerdo de París de limitar el calentamiento global a 1,5 °C (IEA, 2024b). Y es que el cambio climático ya tiene impactos sobre el sector, observándose una doble materialidad, donde las actividades del sector afectan a la evolución del cambio climático, y el cambio climático impacta en el sector de múltiples maneras, representando un desafío significativo para su actividad (MITECO, 2005). Pero, además de su relación con el cambio climático, este sector también se ve influenciado por factores regulatorios, los avances tecnológicos, la financiación, la economía y la geopolítica. Cuestiones -todas ellas- cuya evolución también pueden verse influenciada por el cambio climático, lo que tendrá a su vez un impacto "indirecto" en el sector energético.

A pesar de que este tipo de consideraciones se vienen estudiando desde hace más de 20 años, se ha observado un incremento notable a partir de 2010, en particular, en el ámbito eléctrico y con mayor intensidad en Estados Unidos y Europa (Gerlak, Weston, McMahan, Murray, & Mills-Novoa, 2018); (Solaun & Cerdá, 2019). Dichos estudios han cubierto desde evaluaciones generales de la vulnerabilidad en toda la industria hasta evaluaciones específicas de aspectos o componentes de esa vulnerabilidad. Estudios recientes resaltan una exposición cada vez mayor del sistema energético europeo a múltiples riesgos climáticos, en particular, en el sur de Europa, donde ya se observan riesgos significativos como consecuencia de olas de calor y sequías prolongadas en la producción, transporte, almacenamiento y demanda de energía, así como riesgo de daños en la infraestructura expuesta y cortes de suministro por inundaciones costeras y continentales (EEA, 2024a); (JRC, 2023); (IRENA, 2023). Ejemplo de estos últimos es la dana que azotó la Comunidad Valenciana, Castilla-La Mancha y Andalucía el 29 de octubre de 2024. Las intensas lluvias, vientos, inundaciones y desbordamiento de ríos provocaron daños de diversa consideración en la red de transporte y distribución de energía eléctrica (inundación de estaciones transformadoras, derribo de torres, afección al telemando en algunas instalaciones, etc.), dando lugar a la pérdida del abastecimiento a cerca de 155.000 clientes en diferentes puntos de las zonas afectadas (Esteller, 2024). Aunque de menor alcance, los daños también provocaron la pérdida de comunicaciones con algunos equipos averiados y daños en algunas instalaciones de gas, con cortes puntuales del suministro en zonas concretas (El periódico de la energía, 2024); (El periódico de la energía, 2024a). El coste económico asociado a este evento ha sido estimado en más de 3.700 millones de euros (Ware & Pearce, 2024).

Se trata, por tanto, de eventos que suponen un impacto significativo en términos económicos y de población afectada y que se espera incrementen su probabilidad de ocurrencia, estando situados en primer lugar en la lista de riesgos a 10 años del último informe de percepción del riesgo del Foro Económico Mundial (World Economic Forum, 2025). Existen evidencias de cómo

el cambio climático aumenta el riesgo de eventos inusualmente extremos, lo que se suma a la entrada en una fase crítica e impredecible de la crisis climática. Esto se ha manifestado, en los últimos dos años, en la repetida superación de récords históricos de temperatura del aire y de la superficie del mar, así como en los récords de extensión del hielo marino, que habría alcanzado mínimos históricos. Esto podría desencadenar puntos de inflexión que deriven en una aceleración de daños y dificulten la estabilización del clima (Adil, Eckstein, Künzel, & Schäfer, 2025); (Institute and Faculty of Actuaries, 2025).

Asimismo, es importante señalar cómo los impactos y costes de este tipo de eventos recaen de manera desproporcionada en personas en situación de pobreza, que disponen de menos activos, menos seguros y, en general, un acceso más deficiente a servicios públicos integrales (Ware & Pearce, 2024).

La preocupación por este tipo de impactos ha impulsado a empresas del sector y entidades financieras a movilizar más recursos con el doble objetivo de mitigar el cambio climático y adaptarse a él, asegurando asimismo el cumplimiento de los objetivos energéticos incluso en un clima cambiante. A modo de ejemplo, más allá de la restauración del servicio energético tras la dana de octubre de 2024, la reconstrucción de la red eléctrica de distribución afectada se enfocará en hacerla más robusta y resiliente ante futuros eventos, habiéndose anunciado una inversión de 100 millones de euros en su rediseño (Iberdrola, 2025). A pesar de todo ello, solo el 40 % de los planes de acción climática que los gobiernos han presentado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) priorizan la adaptación en el sector energético, siendo la inversión en este aspecto proporcionalmente baja (World Meteorological Organization, 2022). En el ámbito europeo, los Planes Nacionales de Energía y Clima (PNIEC), evaluados por la Comisión Europea en mayo de 2025, ya empiezan a incorporar de forma más explícita la adaptación del sector como parte de una estrategia integral orientada a alcanzar los objetivos climáticos de 2030. Sin embargo, del análisis de la Comisión se desprende que aún existen diferencias significativas entre países en estos aspectos. En este contexto, el presente capítulo recopila los impactos y riesgos derivados del cambio climático en el sector de la energía, abarcando todas las actividades de su cadena de valor. En este sentido incluye los subsectores de la producción y suministro de energía primaria, la transformación de estos recursos energéticos, su transporte, almacenamiento y distribución y la demanda final.

3. Riesgos relevantes del sector de Energía

Los riesgos relevantes son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas en el sector y que pueden llegar a afectar negativamente la operatividad, rentabilidad y sostenibilidad del mismo. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad, que caracteriza el sector, y pueden cambiar con el tiempo y el espacio debido a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas (Reisinger, 2020).

De acuerdo con la literatura científica, el sector se encuentra expuesto a una alta diversidad de peligros climáticos, entre las que destacan el calor extremo (MITECO, 2024); (Sanz & Galán, 2021); (IHOBE, 2020); (Solaun & Cerdá, 2019), las sequías (IAEA, 2019); (ADB, 2013); (World Bank, 2011), inundaciones de todo tipo (Fant, y otros, 2020); (IHOBE, 2020); (World Bank, 2019), tormentas y vientos extremos (ADB, 2013); (ADB, 2012); (World Bank, 2011) y eventos de mar (Sanz & Galán, 2021); (ADB, 2013). En el capítulo de *Variables climáticas* se puede ver la descripción y proyecciones de evolución de cada peligro climático.

En general, los peligros previamente descritos pueden causar riesgos de distinta naturaleza en el sector energético que, básicamente, podrían agruparse en tres tipos:

- Aquellos que implican una afección a la **integridad física de la infraestructura energética**, ya sea en forma de daño progresivo que reduzca la vida útil esperada (degradación o envejecimiento acelerado) o de daño directo por eventos extremos que inutilice determinados componentes o la instalación completa. Sería una afección no reversible cuya solución pasaría por la realización de mantenimientos más frecuentes, sustitución de componentes o reparación de los daños ocasionados, según sus características y gravedad. A la postre, también tendría consecuencias sobre el servicio dado por la instalación.

- Aquellos que suponen una afección a la **operación, rendimiento y el buen desempeño de las instalaciones** y, por tanto, al **servicio** dado por las mismas. Son afecciones que no dañan la infraestructura y podrían ser reversibles si el nivel del peligro climático disminuye. A modo de ejemplo, la temperatura ambiente óptima de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos suele situarse entre los 20 °C y los 25 °C. Cuando se supere ese umbral, el rendimiento de las placas solares se verá reducido, volviendo a sus valores óptimos cuando la temperatura disminuya.

- Aquello que supone una afección directa al **consumo o demanda** a cubrir y, por tanto, tendrá un impacto en el **servicio de energía final** (demanda) ofrecido por el sector. Se trata igualmente de una afección que podría ser reversible, si el nivel del peligro climático disminuye. A modo de ejemplo, ante un evento de ola de calor, la demanda de energía de algunos procesos industriales y las necesidades de refrigeración de espacios se incrementan, dando como resultado un aumento de la demanda de electricidad acompañado de cambios en su patrón (picos de demanda) que podrían tensionar el sistema.

Estas tipologías de riesgo se podrán observar a lo largo de toda la cadena de valor del sector energético, afectando a las diferentes fases que conforman su actividad, que tradicionalmente se desglosa en (EEA, 2019); (MITECO, 2023):

- Energía primaria: extracción, aprovisionamiento y suministro de recursos energéticos (como petróleo, gas, biomasa, etc.).

- Transformación de la energía: producción de combustibles (como el hidrógeno, la gasolina, etc.), electricidad, calor y frío, a partir de fuentes primarias.

- Transporte de energía: transmisión, almacenamiento y distribución de la energía transformada.

- Energía final o demanda: consumo por parte de usuarios finales en sectores como industria, transporte, residencial y servicios.

Alineado con estas tres grandes tipologías de riesgo y las fases que conforman la actividad del sector, se ha elaborado el modelo conceptual que identifica y relaciona los riesgos más relevantes, así como sus distintos componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad (**Figura 1**).

La **exposición** de estos receptores a los peligros climáticos viene principalmente condicionada por su localización y la relevancia o peso de su actividad en el sector. En este sentido, la alta variedad de actividades que caracteriza el sector refleja una distribución repartida por todo el territorio. En lo referente a la actividad de suministro de energía primaria de origen fósil, la infraestructura se sitúa principalmente en regiones costeras (AICE-Asociación de la Industria del Combustible de España, 2025); (SEDIGAS-Asociación Española del Gas, 2025). Respecto a la generación de energía eléctrica, en términos de potencia instalada, Andalucía, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Aragón concentrarían más del 60 % de la potencia total disponible (REE, 2025). Por su parte, la infraestructura de transporte, almacenamiento y distribución de energía recorre todo el territorio para hacerla llegar a los consumidores finales. A futuro, la senda de descarbonización establecida en el PNIEC (MITECO, 2024) podría modificar la configuración actual en función de

donde se localicen las nuevas instalaciones de generación y la demanda (generación distribuida, autoconsumo, electrificación del consumo de energía en industrias, transporte, etc.).

En cuanto a su **vulnerabilidad**, si se analiza desde un punto de vista holístico, atendiendo a la aproximación definida por (Eklund, 2023), se observa que dicha componente comprende cinco dimensiones:

- La dimensión **físico-tecnológica**, que hace referencia a la predisposición que presenta la infraestructura o las tecnologías de comunicaciones a verse afectada y atiende a factores como las condiciones de diseño y configuración de la instalación, su antigüedad o la frecuencia de mantenimiento.

- La segunda dimensión describe la situación **económica** de la actividad y vendría caracterizada por factores como la escasez de recursos para aplicar mejoras (renovación de equipos, refuerzo, investigación, etc.) o para realizar labores de operación y mantenimiento adecuadas.

- La siguiente componente, relativa a la vulnerabilidad **social**, explica los factores sociales que pueden aumentar los riesgos del sector (Angeon, 2015), como por ejemplo el incremento desigual o descontrolado de la demanda (por urbanización desigual o acelerada, asentamientos informales, etc.), las economías dependientes de la agricultura o la existencia de desigualdades en el acceso a recursos.

- La vulnerabilidad **ambiental** representa la cuarta dimensión y se refiere a la dependencia del entorno donde se ubica o de ciertos recursos básicos dependientes o provenientes de los ecosistemas vulnerables. Tal es el caso, por ejemplo, de las características de la cuenca donde se ubica una instalación y los usos del suelo (que condicionan el recurso hídrico), o la rugosidad del terreno que tiene una afección directa sobre el recurso eólico.

- La última dimensión relativa a la **gobernanza** engloba la capacidad y proactividad en cuanto a la adopción de estrategias y planes de adaptación para la reducción del riesgo climático, incluyendo a su vez la percepción del sector sobre la eficacia de dichas políticas. La dilatación de los tiempos requeridos para la tramitación de permisos (para nueva infraestructura o ampliaciones) y los límites regulatorios también condicionan la capacidad de adaptarse del sector.

Al mismo tiempo, existen otros **factores de riesgo subyacentes** que pueden modificar (agravar o mejorar) tanto la exposición como la vulnerabilidad que presenta el sector ante los peligros previamente descritos. De manera general, podría agruparse estos factores en dos grandes categorías; los que actúan sobre la operativa del sistema energético y su capacidad de suministro y aquellos

que actúan sobre la demanda de energía. A modo de ejemplo, la evolución que sigan la disponibilidad y uso de combustibles fósiles, las políticas de reducción de emisiones y la propia estrategia de transición condicionará el peso de los diferentes tipos de instalación en el mix energético. De igual manera, la demanda de energía se podrá ver modificada por los cambios demográficos que se produzcan, así como por la evolución que sigan las políticas nacionales sobre eficiencia energética o electrificación, por ejemplo. Por otro lado, los cambios que se den en los usos del suelo o en la gestión del agua podrán hacer más o menos vulnerables las actividades dependientes de estos recursos.

La **Figura 1** representa de forma esquemática todos los componentes previamente descritos: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector ante dichos peligros, las diferentes vulnerabilidades y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector.

Energía

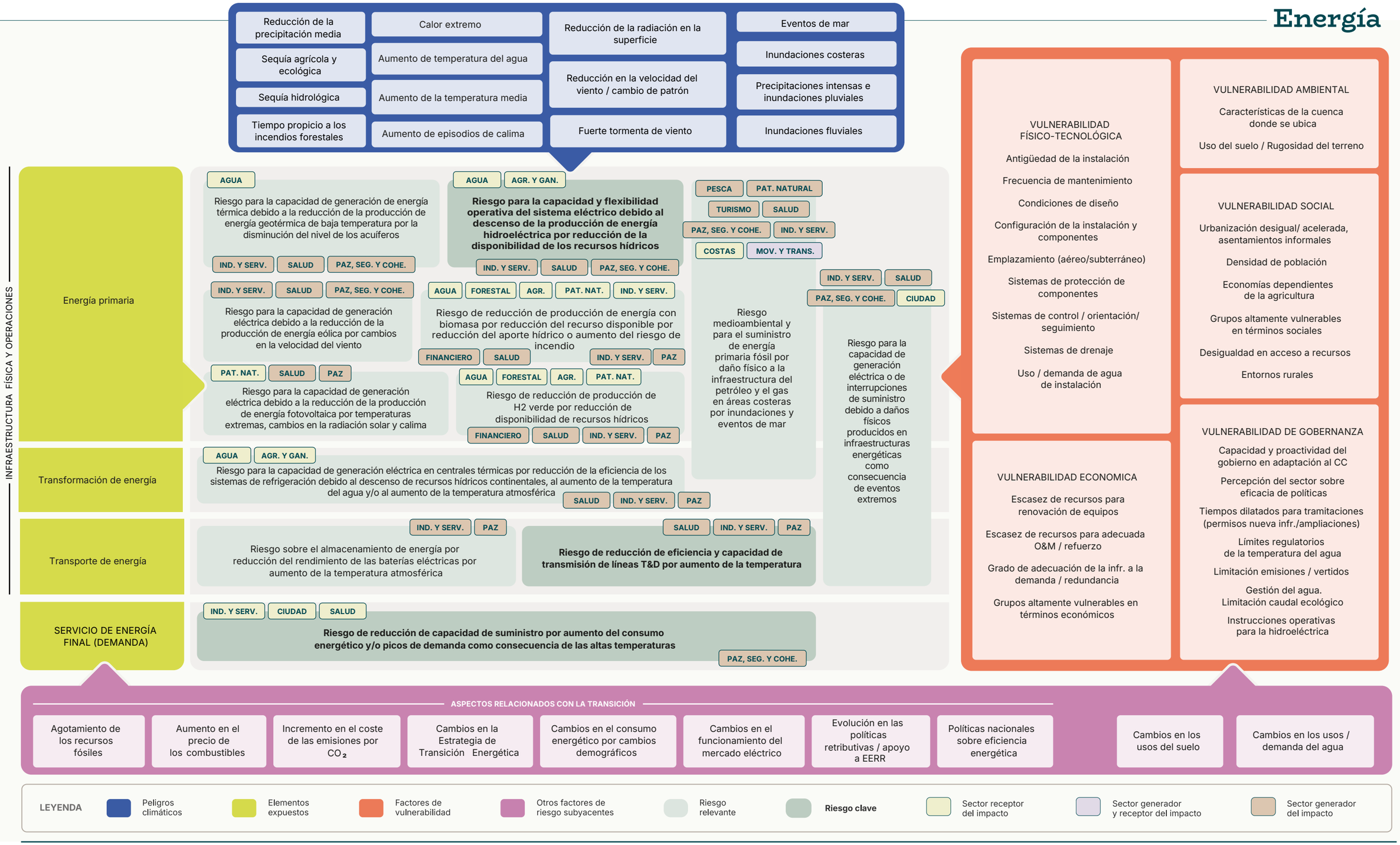


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector de Energía. Fuente: basado en (UNDRR, 2022).

Estos riesgos relevantes identificados para el sector se resumen en la Tabla 1 y se describen cada uno de ellos a continuación.

Algunos de ellos se refieren a eventos que pueden causar daño físico a la **infraestructura energética** en cualquier etapa de su cadena de valor, limitando o interrumpiendo los procesos y servicios dados por ella y poniendo en peligro el entorno en el que se encuentran. Tal es el caso del **riesgo para la capacidad de generación eléctrica o de interrupciones de suministro debido a daños físicos producidos en infraestructuras energéticas como consecuencia de eventos extremos,** entre los que destacarían las inundaciones (fluviales, pluviales y costeras), incendios forestales y vientos extremos. Se trata de un riesgo con potencial impacto en todo el territorio que ha sido resaltado por varios autores tales como (Eurelectric, 2025); (Sanz & Galán, 2021); (MITECO, 2020a); (ADB, 2013); (IAEA, 2019); (Solaun & Cerdá, 2019); (World Bank, 2019); o (Fant, y otros, 2020). Asimismo, autores como (Sanz & Galán, 2021) (World Bank, 2011) y (IAEA, 2019) reconocen específicamente el **riesgo por daño físico a la infraestructura del petróleo y el gas en áreas costeras (*midstream* y *downstream*) como consecuencia de inundaciones costeras y eventos de mar (tormentas, tempestades, incremento del nivel del mar, etc.),** que podría poner en riesgo el suministro de energía primaria fósil y el medio ambiente, sobre todo a escala local (por ejemplo, en caso de darse escapes de combustible). Este riesgo se debe tanto a la localización de este tipo de infraestructura como a la dependencia de los combustibles fósiles que aún muestra el sector. Esta dependencia, sin embargo, irá disminuyendo. El PNIEC (MITECO, 2024) prevé para 2030 una reducción de un 34 % del consumo final de productos petrolíferos respecto a 2019. De la misma forma, el consumo de gas natural se reduciría en torno a un 23 %.

Ambos riesgos están relacionados con la afección a la integridad de los activos, estando condicionados no sólo por su localización y las condiciones locales (en exterior o interior, soterrado, elevado, en la costa, etc.), sino también por el diseño de la infraestructura, su grado de redundancia y automatización, su antigüedad y el mantenimiento que reciba. En este sentido, también pueden ser factores de vulnerabilidad la escasez de recursos económicos que impida la renovación de componentes o el correcto mantenimiento de la instalación o también un exceso de burocracia que alargue los procesos de concesión de permisos para nueva infraestructura o ampliaciones. A modo de ejemplo, el soterramiento de las líneas o la elevación de subestaciones puede restarles vulnerabilidad, ayudando a contener los daños, tal y como se pudo comprobar tras la dana ocurrida en la Comunidad Valenciana, Castilla-La Mancha y Andalucía en octubre de 2024, cuyo impacto sobre las líneas de media tensión de la zona fue moderado, al encontrarse soterrada. Por otro lado, su diseño mallado y su alto grado de digitalización resultaron ser clave para restablecer el suministro eléctrico.

Aunque generalmente las infraestructuras se diseñan con margen para resistir diversos tipos de eventos extremos (EEA, 2024a), se trata de impactos que, en su caso, podrían requerir de un largo

plazo de tiempo y alto coste para su recuperación, con consecuencias que dependerán del tipo y tamaño de la instalación afectada y de la gravedad del daño. Si se produce un daño importante que inhabilite instalaciones con gran contribución a la generación y/o demanda de energía, podría suponer un impacto económico importante con interrupciones del suministro de energía e incluso consecuencias para el medio ambiente. Todo ello podría afectar a servicios esenciales, actividades económicas y la población, con mayores consecuencias para poblaciones vulnerables.

Ello podría derivar en una mayor dependencia energética del exterior en caso de escasez y/o encarecimiento de los recursos propios, y un aumento del coste de la energía. Esto, combinado con bajos ingresos e ineficiencia energética[3], podría agravar situaciones de pobreza energética (Awaworyi Churchill, Smyth, & Trinh, 2022); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012), donde las mujeres podrían ser especialmente vulnerables, en particular, madres y mujeres solteras y aquellas mayores de 65 años (Orkestra, 2023); (Parlamento Europeo, 2023); (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020). Las consecuencias adversas podrían afectar especialmente a las zonas más despobladas del país, menos prioritarias a la hora de reparar los daños. Un bajo nivel de desarrollo económico, entendido como la carencia o escasez de recursos y estabilidad financiera, también podría afectar la capacidad de adaptación (EEA, 2024a).

En los últimos meses, se han producido en España eventos inusualmente extremos (lluvias torrenciales, inundaciones, olas de calor, incendios...) que han resultado especialmente destructivos. Según los estudios consultados durante la realización de este estudio, se trata de eventos de muy baja probabilidad, pero provocan daños sobre cualquier infraestructura expuesta, pudiendo llegar a causar un impacto económico muy alto, no sólo en términos de reparación del daño, sino también por los efectos en cascada mencionados. Por otro lado, parece que la tendencia apunta a que los fenómenos meteorológicos extremos se están volviendo más probables y graves debido al cambio climático, aunque, por su complejidad, no se dispone actualmente de datos suficientemente representativos que permitan estimar cuál puede ser el periodo de retorno a futuro (World Meteorological Organization, 2024); (Science Media Centre España, 2024). A pesar de que su relevancia para España es incuestionable, el AMC llevado a cabo para priorizar los riesgos clave a los que se enfrenta el sector (ver sección 4) no sitúa estos riesgos entre los prioritarios. Es importante resaltar en este punto el carácter dinámico del estado del arte en este ámbito, siendo constante la publicación de nuevos estudios e investigaciones que analizan los eventos recientes y sus consecuencias y que no han podido ser incorporados al presente estudio de manera detallada.

[3] Los hogares de bajos ingresos tienden a vivir en casas menos eficientes energéticamente y utilizan electrodomésticos que consumen más energía y son más costosos de mantener (Awaworyi Churchill, Smyth, & Trinh, 2022); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012).

No obstante, cabe resaltar que este tipo de riesgo sí ha resultado priorizado como riesgo clave para otros sectores. El capítulo de *Industria y servicios* analiza el *riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos* (*RC11.1*) de manera amplia y transversal, resultando de aplicación para el sector energético. De la misma forma, el capítulo de *Costas y medio marino* prioriza el *riesgo de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos (RC6.2)* de relevancia para la infraestructura costera del sector. Desde un punto de vista más urbano, el capítulo de *Ciudad, urbanismo y edificación* también analiza en detalle dos riesgos clave asociados a eventos extremos, considerando, no solo la afección a la infraestructura (*RC7.1 Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos),* sino también al suministro de servicios básicos *(RC7.2 Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas))*. Este último tipo impacto también se aborda desde una perspectiva más transversal en el capítulo de *Paz, seguridad y cohesión social*, donde se destaca como clave el *riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático (RC14.2)*. En él se ofrece una descripción detallada de los impactos en cascada que una interrupción del suministro energético puede desencadenar en la seguridad energética, entendiendo como tal el acceso equitativo, asequible y continuo a este servicio esencial.

Por otro lado, poniendo el foco en la funcionalidad del sistema energético, esta puede verse comprometida por una variedad de riesgos que podrán actuar sobre la **operación** de diversas tecnologías, a lo largo de toda su cadena de valor, sin comprometer la integridad física de los activos. La **Tabla 1** muestra un listado con los riesgos más relevantes identificados en la literatura. En lo que respecta a las actividades de **energía primaria y transformación de energía**, se han identificado una serie de riesgos relacionados con la capacidad de las instalaciones de dar el servicio para el que fueron diseñadas, bien sea por escasez de recursos necesarios para operar (combustible, agua, etc.) o por una afección del peligro sobre el rendimiento de los procesos que implica. Son factores de vulnerabilidad, además del propio diseño de las instalaciones (adecuación a la demanda, eficiencia en el consumo de recursos, grado de adaptación a las condiciones del lugar, existencia de sistemas de orientación o seguimiento, la disponibilidad de sistemas de almacenamiento, etc.), las características y evolución del entorno donde se ubique y el nivel de "competencia" por el uso de los recursos en la zona, entre otros.

Las consecuencias de estos riesgos pueden variar según su naturaleza y el tipo o tamaño de la instalación afectada. Su afección al mix energético y al autoconsumo podría provocar au-

mentos en el precio de la energía (EEA, 2024a) (ya sea por el uso de tecnologías de respaldo más caras o por una mayor dependencia de las importaciones) que agraven situaciones de pobreza energética. Asimismo, en algunos casos, podría requerir el uso de tecnologías menos sostenibles, con implicaciones negativas para las emisiones del sector (Micheli, Almonacid, Bessa, Fernández-Solas, & Fernández, 2024). En los escenarios más críticos, podrían producirse interrupciones en el suministro eléctrico que afecten a servicios esenciales, actividades económicas y la población.

Asimismo, la actividad de **transporte de energía (transporte, transmisión, almacenamiento y distribución)**, podría ver afectado su servicio por merma del rendimiento de sus componentes o por excederse los límites de diseño. La **Tabla 1** muestra un listado con los riesgos más relevantes identificados en la literatura. Como consecuencia del incremento de las temperaturas, se observan dos potenciales riesgos para la actividad. Por un lado, el **riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica** (Sanz & Galán, 2021); (MITECO, 2020a); (Solaun & Cerdá, 2019); (ADB, 2012) y, por otro, el **riesgo sobre el almacenamiento de energía debido a la reducción del rendimiento de las baterías eléctricas** (Sanz & Galán, 2021); (MITECO, 2020a), esenciales a la hora de compensar la variabilidad de las energías renovables. Los factores de vulnerabilidad, en este caso, podrían estar relacionados con el diseño (resiliencia) y dimensionado (adecuación a la demanda) de los diferentes elementos, su flexibilidad y su grado de redundancia. La evolución de la demanda es clave en este caso (urbanización desigual o acelerada, asentamientos informales, densidad de población, cambios en los patrones, etc.) y su capacidad adaptativa estará condicionada por la disponibilidad de recursos económicos para realizar refuerzos de la infraestructura y la agilidad en la concesión de permisos de ampliación y refuerzo.

A futuro, en una red con alta penetración de renovables, una ocasional insuficiencia de generación y control de tensión, sumada a un menor rendimiento de las redes o fallos aleatorios del sistema, podrían aumentar el riesgo de apagones (Gomila, Carreras, & Colet, 2022); (REE, 2025c) y mermar la calidad, la fiabilidad y la estabilidad de la energía de la red (Micheli, Almonacid, Bessa, Fernández-Solas, & Fernández, 2024). Como consecuencia, podría llegar a producirse un deterioro de la calidad del suministro dado, afectando a servicios esenciales, actividades económicas y la población, con mayores consecuencias para poblaciones vulnerables. El impacto podría ser mayor en líneas muy congestionadas y/o en las zonas más despobladas, habitualmente menos prioritarias a la hora de mejorar o reforzar las redes o a la hora de restituir el servicio en caso de apagón, tal y como se observó tras el apagón masivo ocurrido en abril de 2025, que tardó en recuperarse hasta 20 horas en varias zonas del país (Torvisco, 2025). Los colectivos vulnerables que tengan una mayor dependencia de los sistemas de refrigeración para sobrevivir (EEA, 2024a) podrían ser los más afectados en caso de producirse un corte prolongado.

Por último, en el apartado de afección al **servicio de energía final (demanda de energía)**, diversos estudios consideran el **riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda** que saturen las líneas de transporte y distribución **como consecuencia de las altas temperaturas** (Sanz & Galán, 2021); (MITECO, 2020a); (IHOBE, 2020). Se trata de un riesgo que conlleva cambios en la magnitud y los patrones de la demanda de electricidad como resultado de los escenarios climáticos previstos y cuya severidad estará muy influenciada por factores como los cambios demográficos o el fomento de la eficiencia energética en las edificaciones, que modifican las necesidades de climatización. Según el estudio (Economics for Energy, 2017), podría producirse un aumento del 33 % en la demanda de energía para climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) en el período 2020-2050, apuntando como posibles causas, además del cambio climático, el aumento de la población, la urbanización y el cambio en los patrones de comportamiento (mayor permanencia en los edificios).

En este contexto, la vulnerabilidad estará condicionada principalmente por la eficiencia energética de las edificaciones y los equipos empleados en la climatización, así como por el tipo de consumidor y su naturaleza[4]. El 50 % de las viviendas podrían estar mal aisladas, ya que fueron construidas antes de 1980, fecha en la que se empezó a exigir la instalación de aislamientos térmicos en los edificios nuevos. A esto se suma el mal estado de conservación de una parte de ellos (de esos 9,7 millones de inmuebles más antiguos, un millón se encontraría en mal estado). Por otro lado, el 81 % de las viviendas tienen una pobre calificación energética (E, F o G) (IDAE, 2022). En este sentido, los colectivos más vulnerables podrían demandar más energía (EEA, 2024a), pero muchos de ellos no podrán asumir su coste ni contar con equipos de climatización de alta eficiencia que reduzcan el consumo energético y su factura, derivando en situaciones de pobreza energética (Awaworyi Churchill, Smyth, & Trinh, 2022); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012). Un estudio del Institut Metròpoli (Satorras, Borràs, Serrano, & Domene, 2023), sobre las percepciones y estrategias de adaptación al calor extremo en 1.200 hogares vulnerables al calor en el ámbito metropolitano de Barcelona, indicó que, aunque más del 60 % de las personas contactadas declaraban tener aparatos de aire acondicionado, el 30,7 % de ellas afirmaba no poder mantener la vivienda a una temperatura adecuada durante el verano. Las mujeres podrían ser el colectivo más vulnerable, en particular, madres y mujeres solteras y aquellas mayores de 65 años (Orkestra, 2023); (Parlamento Europeo, 2023); (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020).

La consecuencia más inmediata de este riesgo estaría relacionada con la dificultad de hacer frente a picos de demanda para los que el sistema no esté diseñado, pudiendo saturar la capacidad de la

[4] Los hogares de bajos ingresos tienden a vivir en casas menos eficientes energéticamente y utilizan electrodomésticos que consumen más energía y son más costosos de mantener (Awaworyi Churchill, Smyth, & Trinh, 2022); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012).

infraestructura de transporte y distribución y/o producirse en momentos en que no se disponga de tecnologías de producción de electricidad de origen renovable, obligando a poner en marcha instalaciones más costosas y menos sostenibles o a importar más electricidad del exterior. Estos problemas de suministro podrían afectar a servicios esenciales, actividades económicas y la población, con mayores repercusiones para poblaciones vulnerables.

Cabe resaltar en este punto la fuerte vinculación del sector de la energía con otros sectores, lo que le confiere una elevada criticidad sistémica y lo posiciona como un nodo estratégico cuya vulnerabilidad puede amplificar riesgos intersectoriales. Por este motivo, diversos sectores identifican como un riesgo clave la posible afectación al suministro de servicios básicos (entre ellos, el energético) y sus efectos en cascada y abordan su análisis desde una perspectiva más amplia y transversal, complementando así el enfoque presentado en el presente capítulo. Cabe destacar la conexión con los ámbitos de *Industria y servicios*, *Agua y recursos hídricos, Ciudad, urbanismo y edificación, Paz, seguridad y cohesión social*.

A continuación, se muestra el listado que resume los riesgos descritos previamente, identificados como más relevantes para el sector de *Energía* en base a la revisión de diversa literatura del sector, especificando el subsistema o receptor del mismo.

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del sector de Energía.

Id.	Subsistema	Riesgo relevante	Riesgo clave
RR9.1	Energía primaria y transformación de energía	Riesgo medioambiental y para el suministro de energía primaria fósil por daño físico a la infraestructura del petróleo y el gas en áreas costeras (midstream y downstream) como consecuencia de inundaciones y eventos de mar (tormentas, tempestades, incremento del nivel del mar, etc.)	
RR9.2	Infraestructura física y operaciones	Riesgo para la capacidad de generación eléctrica o de interrupciones de suministro debido a daños físicos producidos en infraestructuras energéticas como consecuencia de eventos extremos	
RR9.3	Energía primaria	Riesgo de reducción de la producción de energía procedente de biomasa debido a la reducción del recurso disponible por la reducción del aporte hídrico o el aumento del riesgo de incendio	

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Id.	Subsistema	Riesgo relevante	Riesgo clave
RR9.4	Energía primaria	Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos	RC9.1
RR9.5	Energía primaria	Riesgo para la capacidad de generación eléctrica debido a la reducción de la producción de energía eólica por cambios en la velocidad del viento	
RR9.6	Energía primaria	Riesgo para la capacidad de generación eléctrica debido a la reducción de la producción de energía fotovoltaica por temperaturas extremas, cambios en la radiación solar y calima	
RR9.7	Energía primaria	Riesgo para la capacidad de generación de energía térmica debido a la reducción de la producción de energía geotérmica de baja temperatura por la disminución del nivel de los acuíferos	
RR9.8	Transformación de energía	Riesgo para la capacidad de generación eléctrica en centrales térmicas por reducción de la eficiencia de los sistemas de refrigeración debido al descenso de recursos hídricos continentales, al aumento de la temperatura del agua y/o al aumento de la temperatura atmosférica	
RR9.9	Transporte de energía	Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica	RC9.2
RR9.10	Transporte de energía	Riesgo sobre el almacenamiento de energía debido a la reducción del rendimiento de las baterías eléctricas por aumento de la temperatura atmosférica	
RR9.11	Transformación de energía	Riesgo de reducción de la producción de H2 verde por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos	
RR9.12	Servicio de energía final (demanda)	Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas	RC9.3

4. Riesgos clave del sector de Energía

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición, y en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022a). Para la identificación de los riesgos clave del sector, los doce riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un AMC. Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (IPCC, 2022a) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2024a).

La aplicación de dichos criterios al sector de *Energía* y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos que son catalogados como "Riesgos Clave" y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR9.4 Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos (RC9.1).

- RR9.9 Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica (RC9.2).

- RR9.12 Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas (RC9.3).

A continuación, se describen en profundidad cada uno ellos.

4.1. RC9.1: Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos

El primer riesgo clave priorizado se corresponde con el **riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos.** Se trata de un riesgo reconocido en la literatura (MITECO, 2020a); (Sanz & Galán, 2021); (ADB, 2012); (Solaun & Cerdá, 2019); (JRC, 2020) y hace referencia al riesgo que supone para la capacidad y flexibilidad operativa una reducción en la producción hidroeléctrica como consecuencia de la disminución del recurso hídrico, en forma de desertificación progresiva y/o eventos puntuales de sequía.

Su capacidad de acoplarse sin dificultades a los cambios repentinos de la demanda, la regulación de la frecuencia y de la tensión la hace especialmente interesante en el mix de generación, proporcionando una alta calidad y garantía de suministro de energía eléctrica.

La producción hidroeléctrica juega un papel crucial en la transición hacia un sistema energético más sostenible. Aunque su contribución específica varía anualmente de forma significativa, resulta fundamental para la diversificación de la matriz energética, facilitando la integración de otras renovables y reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles. En términos de generación, la energía hidroeléctrica ha cubierto en los últimos años entre un 7 % y un 13 % de las necesidades de electricidad del país (en 2024, un 13,3 %) (REE, 2024d). Esta relevancia para la operación del sector sería uno de los principales motivos por los que este riesgo se considera clave, unido a la potencial afección observada (JRC, 2023) (aunque el nivel de riesgo es muy variable en función de la cuenca, las instalaciones potencialmente vulnerables se encuentran distribuidas por todo el país (**Figura 2**); (REE, 2025b) y otras causas, descritas en detalle en el AMC, como su alta probabilidad de ocurrencia a corto plazo (EEA, 2024a) y sus potenciales efectos en cascada, no sólo sobre el propio sector (por la necesidad de operar con otras tecnologías más caras y/o menos limpias o importar más energía), sino también en otros sectores económicos, la salud y el bienestar humano (EEA, 2024a) en caso de producirse interrupciones del servicio y/o cambios en los precios de la energía. Sequías prolongadas podrían llevar también a conflictos entre diferentes sectores usuarios del agua e, incluso, entre países que comparten recursos hídricos. Cabe destacar que el capítulo dedicado al sector *Agua y recursos hídricos* también analiza en detalle el riesgo por sequía para

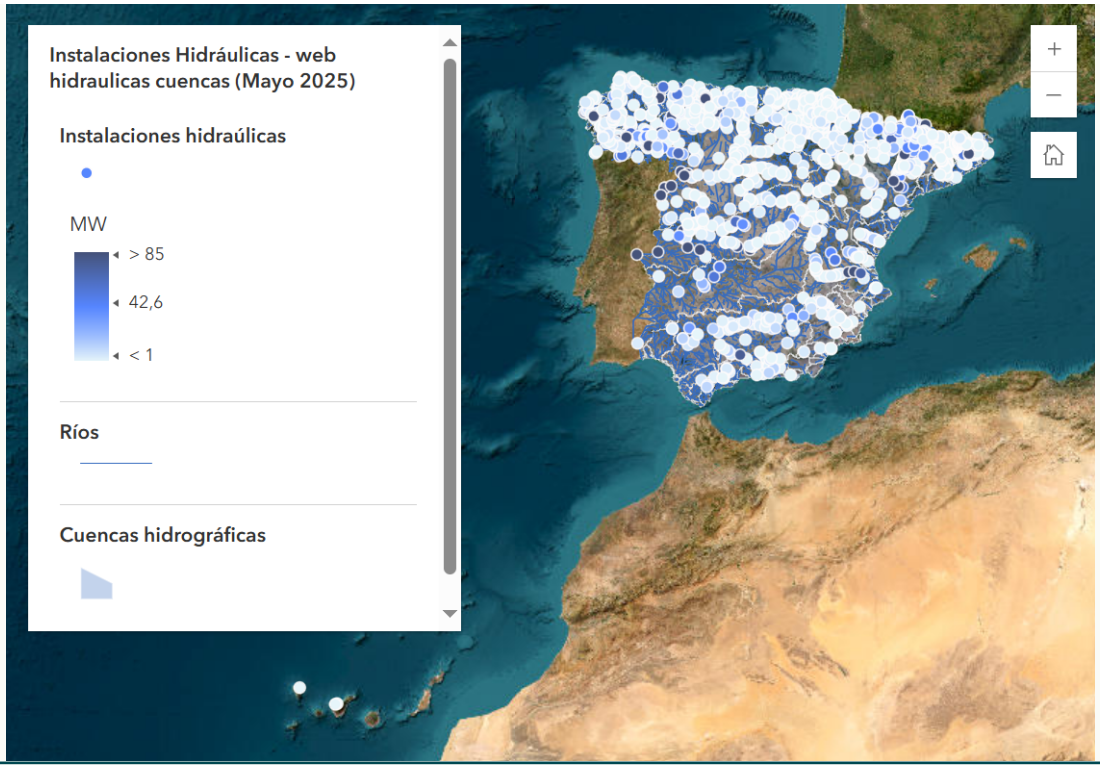


Figura 2. Mapa de instalaciones hidráulicas nacionales (REE, 2025b)

los diferentes sectores usuarios[5], abordándolo, en este caso, desde un punto de vista más amplio y transversal que se complementa con el enfoque dado en el presente capítulo. Con ello se refuerza la relevancia de este riesgo y su relación con múltiples sectores.

La Figura 3 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. Sobre el riesgo clave actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores. Se observa cómo se trata de un riesgo que está muy conectado a otros riesgos relevantes, de manera directa con el riesgo para la refrigeración de centrales térmicas, e indirecta por la concurrencia de condiciones meteorológicas que favorecen tanto el riesgo por aumento de la demanda energética como el riesgo asociado a la reducción de la eficiencia y capacidad de la red eléctrica de transporte y distribución. Todos ellos se producen bajo condiciones climatológicas similares que podrían ser más extremas en verano. La sinergia de estos riesgos agravaría las consecuencias.

[5] RC2.1 Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración; RC2.3 Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes.

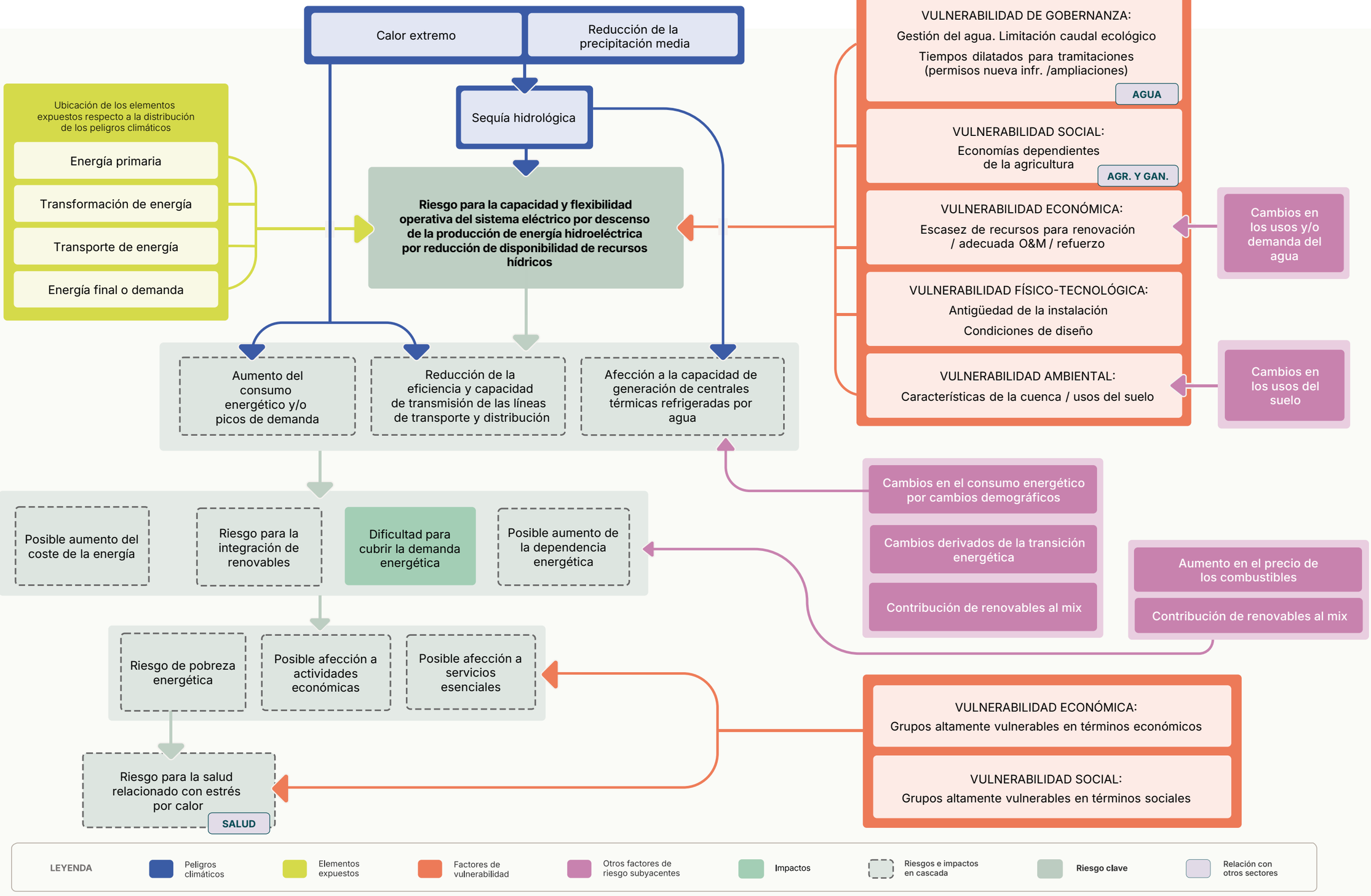


Figura 3. Cadena de impacto del riesgo clave para la capacidad de generación eléctrica debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos.

La interacción entre el peligro, la exposición y la vulnerabilidad de la generación hidroeléctrica daría como resultado el riesgo para la capacidad de producción de estas instalaciones. La **Figura 3** muestra como la escasez de agua o sequía hidrológica sería el peligro desencadenante de este riesgo clave, la cual se vería favorecida por el aumento de las temperaturas y la reducción de las precipitaciones. Numerosos estudios y proyecciones confirman la intensificación de las temperaturas, olas de calor y sequías en el corto plazo (hasta 2040) y *Medio plazo* (2041-2060) en la mayor parte de Europa, y especialmente en el sur y el oeste, pudiendo producirse, antes de 2040, eventos extremos de calor y sequía típicos de un clima de fin de siglo (EEA, 2024a). En España, de acuerdo con CEDEX (CEDEX, 2017), cabría esperar una reducción de recursos hídricos conforme avance el siglo XXI, con una tendencia general a sequías más frecuentes, aunque no todas las proyecciones muestran tan clara esa señal. La región mediterránea y las Islas Canarias podrían verse especialmente afectadas (MITECO, 2024a). De la misma manera, las sequías de 2 y 5 años de duración podrían producirse con mayor frecuencia, proyectando disminuciones para la mayoría de las cuencas, mayores a medida que avanza el siglo y en los escenarios de mayores emisiones (MITECO, 2020). El PNIEC prevé para 2030 una reducción del orden del 6 % de su contribución al mix respecto a la energía generada en 2020, con un leve aumento de la potencia instalada respecto a 2020 (MITECO, 2024). La sequía se traduce en una reducción del agua embalsada y/o en una reducción del caudal circulante en los ríos, afectando de manera desigual a las instalaciones, que se encontrarán más o menos expuestas según su localización. Las proyecciones resultarían más desfavorables en las cuencas de la mitad sur del país, con mayor propensión a sequías cuanto más al sur. En las cuencas internas de Cataluña y Baleares se estima una menor reducción de recursos hídricos, aunque con discrepancias entre proyecciones. El Joint Research Centre (JRC) estima que la sequía podría reducir la producción promedio anual de energía hidroeléctrica entre un 1,5-3 % (según los territorios, horizontes temporales y escenarios considerados) respecto al valor promedio esperado en las condiciones climáticas actuales (JRC, 2023).

La vulnerabilidad al riesgo estará fuertemente condicionada por factores propios de la instalación y de la cuenca en la que se encuentre. En este sentido, la digitalización de las instalaciones, los diseños modulares y una adecuada limpieza y mantenimiento del embalse y el equipamiento reduciría su vulnerabilidad y aumentaría su capacidad para adaptarse. Asimismo, la gestión del agua en la cuenca o cuencas aportantes (usos del suelo, caudales ecológicos, conexión de cuencas, etc.) y la competencia por su uso (consumo agrícola, urbano, industrial, energético en refrigeración de centrales, etc.), así como su evolución, pueden incrementar la vulnerabilidad de los sistemas hidroeléctricos.

En caso de materializarse el riesgo, podría desencadenar diversos impactos en cascada, tanto sobre el propio sector como sobre los sectores económicos, la salud y el bienestar humano (EEA, 2024a). Dado que la energía hidráulica representa un porcentaje importante del total de energía generada (REE, 2024), el impacto más inmediato sería sobre la capacidad de cubrir la demanda energética. En épocas de sequía, las centrales térmicas, menos sostenibles y más costosas, ganarían mayor protagonismo, pero la mayoría de ellas también necesitan agua para refrigerarse, lo que podría intensificar el problema y derivar en cortes de suministro. Un ejemplo ilustrativo se dio en 2022, cuando España y Portugal enfrentaron una grave sequía que hizo caer la producción hidroeléctrica a uno de sus niveles más bajos desde 1990. Para mantener estable el suministro eléctrico, se incrementó la producción de las centrales de gas de ciclo combinado en apoyo a la energía eólica y la solar. Con ello pudieron mantenerse también las exportaciones de electricidad a Francia y Marruecos (Escribano, Fontoura Gouveia, Fachada, & Urbasos Arbeloa, 2025).

Asimismo, por su capacidad de almacenar energía y su rápida capacidad de reacción, las centrales hidroeléctricas tienen un papel crucial en la integración de otras renovables y la estabilización de la red eléctrica (proveen de inercia rodante al sistema eléctrico), de vital importancia en redes con alta penetración de renovables[6]. Todo ello tiene un impacto directo en la calidad del suministro y el precio de la energía, afectando negativamente a la actividad económica, la provisión de servicios esenciales y a consumidores vulnerables, pudiendo derivar en el agravamiento de situaciones de pobreza energética y el aumento de las tasas de mortalidad y morbilidad (enfermedades físicas y mentales) (EEA, 2024a); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012) (reconocido también en los sectores de *Salud humana*, *Ciudad, urbanismo y edificación, Industria y servicios y Paz, seguridad y cohesión social*).

En casos más extremos, con sequías prolongadas, podrían darse conflictos entre diferentes sectores usuarios del agua e, incluso, entre países que comparten recursos hídricos. Por otro lado, en combinación con olas de calor que modifican los picos de demanda de electricidad, pueden provocar cortes de energía que afecten a las telecomunicaciones, al transporte e incluso al suministro y tratamiento del agua (EEA, 2024a) (riesgo reconocido en el ámbito del sector *Agua y recursos hídricos*).

[6] La inercia eléctrica se refiere a la capacidad de ciertos elementos del sistema eléctrico (como los generadores rotativos convencionales) para resistir cambios bruscos en la frecuencia de la red y evitar apagones o daños en los equipos. Centrales térmicas, nucleares e hidroeléctricas aportan inercia rodante, contribuyendo activamente a la estabilidad del sistema eléctrico. Se trata de una propiedad fundamental para mantener su estabilidad ante variaciones súbitas en la generación o el consumo, siendo especialmente valiosa en sistemas con alta penetración de energías renovables variables (como la solar y la eólica) que no aportan inercia mecánica. Por otro lado, en este tipo de redes altamente renovables, es posible compensar la menor inercia natural implementando tecnologías *grid forming* y de inercia sintética (almacenamiento, electrónica de potencia avanzada, etc.).

Finalmente, este riesgo podría verse condicionado por otros factores subyacentes, que pueden modificar tanto la exposición como la vulnerabilidad del sector a este riesgo, actuando básicamente sobre la demanda de energía y/o sobre la capacidad de suministro del sistema. Cabe destacar factores como los cambios derivados de la transición energética (penetración de renovables, impulso a la eficiencia energética, etc.), los cambios en el funcionamiento del mercado eléctrico (criterios de despacho, régimen retributivo, etc.) o los cambios demográficos y de estilos de vida (consumo de agua, demanda de electricidad, etc.).

Ficha 1. Análisis del riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Limitada	Limitada	Sustancial
	Reducción de la producción nacional del 5-7,5 % (pérdida anual promedio) respecto a lo esperado, en condiciones climáticas actuales[7] (JRC, 2023). La reducción de la producción podría ser del 30-40 % respecto a lo esperado durante eventos de sequía de 50 años de periodo de retorno (JRC, 2023). La competencia con otros usos podría aumentar la severidad del impacto (EEA, 2024a). La existencia de fuentes de energía alternativas condicionará la dependencia de fuentes vulnerables a las sequías	La reducción del potencial hidroeléctrico podría ser menor o igual del 5 % respecto al periodo 1971-2000 (Tobin, y otros, 2018). El JRC estima que las pérdidas de energía hidroeléctrica podrían multiplicar por 1,5-2 las pérdidas actuales (JRC, 2023). La existencia de fuentes de energía alternativas condicionará la dependencia de fuentes vulnerables a las sequías (JRC, 2023).	Mayor reducción de recurso hídrico conforme avance el siglo XXI, con una tendencia general a sequías más frecuentes (CEDEX, 2017). Proyecciones más desfavorables en cuencas andaluzas, islas Baleares y Canarias (MITECO, 2020). Actualmente, la hidroeléctrica Andaluza supone el 3,6 % de la potencia instalada nacional (REE, 2025). La reducción del potencial hidroeléctrico podría ser inferior al 10 %, respecto al periodo 1971-2000 (Tobin, y otros, 2018). El JRC estima que las pérdidas de energía hidroeléctrica podrían	Mayor reducción de recurso hídrico conforme avance el siglo XXI, con una tendencia general a sequías más frecuentes (CEDEX, 2017). Proyecciones más desfavorables en cuencas andaluzas, islas Baleares y Canarias (MITECO, 2020). Actualmente, la hidroeléctrica Andaluza supone el 3,6 % de la potencia instalada nacional (REE, 2025). La reducción del potencial hidroeléctrico podría situarse en el 15 %-20 % para un calentamiento de 3 °C, respecto al periodo 1971-2000 (Tobin, y otros, 2018). El JRC estima que las pérdidas de energía hidroeléctrica, a un nivel

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[7] Rango referido a la pérdida anual media como reducción relativa en la producción hidroeléctrica debida a condiciones de sequía, bajo las condiciones climáticas actuales. Los valores se expresan como porcentaje de la producción hidroeléctrica y se evaluaron en base a la energía anual generada por país (nivel NUTS-0). Para ello de utilizaron datos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) (en inglés, International Energy Agency o IEA), con una cobertura temporal limitada a 10 años, desde 2010.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	(JRC, 2023). En los últimos eventos de sequía que han tenido un impacto significativo en la producción hidroeléctrica (2022, 2023) no se vio comprometida la seguridad de suministro gracias a las centrales de gas de ciclo combinado y renovables.		multiplicar por 1,5-2 las pérdidas actuales (JRC, 2023). La existencia de fuentes de energía alternativas condicionará la dependencia de fuentes vulnerables a las sequías (JRC, 2023).	de calentamiento de 3 °C, podrían duplicar o incluso triplicar las actuales (JRC, 2023). La existencia de fuentes de energía alternativas condicionará la dependencia de fuentes vulnerables a las sequías (JRC, 2023).
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Alta · Medio	· Alta · Medio	· Alta · Medio
	Red Eléctrica (REE) proporciona informes nacionales del impacto histórico de este riesgo en periodos de sequía, evidenciando cambios en el mix generador. Se dispone, asimismo, de otros estudios a nivel nacional y europeo, como (JRC, 2023); (CEDEX, 2017).	Se dispone de otros estudios a nivel nacional y europeo, como (JRC, 2023); (CEDEX, 2017); (Tobin, y otros, 2018); (Tecnalia, 2021).	Se dispone de otros estudios a nivel nacional y europeo, como (JRC, 2023); (CEDEX, 2017); (Tobin, y otros, 2018); (Tecnalia, 2021).	Se dispone de otros estudios a nivel nacional y europeo, como (JRC, 2023); (CEDEX, 2017); (Tobin, y otros, 2018); (Tecnalia, 2021).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Se esperan sequías más largas y frecuentes, acusándose según avanza el siglo XXI. Mayor frecuencia de sequías de 2 y 5 años de duración (CEDEX, 2017); (MITECO, 2020). • Se espera que la producción hidráulica nacional disminuya como consecuencia del cambio climático (JRC, 2023). Se prevé que las pérdidas hidroeléctricas se multipliquen por un valor entre 1,5-3 (según horizonte temporal y escenario de futuro considerado) respecto a las pérdidas esperadas en las condiciones climáticas actuales (JRC, 2023).	• Instalaciones vulnerables distribuidas por todo el país. El nivel de riesgo es variable en función de la cuenca (JRC, 2023); (REE, 2025). • La hidroeléctrica ha representado en los últimos 10 años entre un 13 % y un 17 % de la potencia instalada (REE, 2025). Su contribución es muy variable debido principalmente a la disponibilidad de recurso (en 2024 representó el representó el 13,3 % de la generación nacional total, mientras que en 2022 supuso el 6,6 %) (REE, 2024d). • Mayor relevancia según se avance en la transición energética (proporciona servicios de equilibrio y flexibilidad) (Mosquera, 2024) pudiendo impactar sobre la capacidad de integrar renovables. • Podría tener efectos en cascada sobre la población vulnerable por aumento del precio de la energía.	• Condicionada por el diseño (flexibilidad), antigüedad y estado de la infraestructura: las características de la central y el embalse; su gestión y mantenimiento; la cuenca en que se ubique y los usos del suelo; y la extracción de agua para otros usos. Los embalses ayudan a contrarrestar las variabilidades (JRC, 2023). • La combinación de baja producción hidroeléctrica con alta demanda eléctrica (picos de verano), menor capacidad de producción de centrales térmicas refrigeradas por agua y menor capacidad de red (Fant, y otros, 2020) podrían crear cuellos de botella en la red. La existencia de fuentes de energía alternativas condicionará la dependencia de fuentes vulnerables a las sequías (JRC, 2023).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	A futuro, una mayor proporción de renovables podrían mermar la flexibilidad del sistema para adaptarse a la demanda. La afección de los cambios en la producción hidroeléctrica será mayor (Kan, Reichenberg, & Hedenus, 2021). Podría requerirse mayor importación de electricidad del exterior. No siempre es factible y resulta más complejo y caro. Una mayor dependencia de la electricidad importada, sin un refuerzo adecuado de la red, puede generar problemas de seguridad energética (Torriti, 2017). Con sequías prolongadas, se producen conflictos entre diferentes sectores usuarios del agua y entre países que comparten recursos hídricos (EEA, 2024a).
Territoriales	Disminución del recurso en la mayoría de las cuencas. Proyecciones más desfavorables en las cuencas andaluzas y en las islas Baleares y Canarias (CEDEX, 2017); (MITECO, 2020). Las demarcaciones hidrográficas del Guadalquivir, Guadalete, Sur y Segura serían las más afectadas según (ITT Comillas, 2015); (Sanz & Galán, 2021). Competencia por el uso del agua con la agricultura. Región de Murcia, Andalucía y Comunidad Valenciana tienen la mayor superficie de regadío (MAPA, 2021). Las cuencas del Duero y del Ebro presentan el mayor consumo de agua.
Sociales	• Riesgo de aumento del precio de la energía. Mayor afección a consumidores vulnerables que agraven situaciones de pobreza energética (Awaworyi Churchill, Smyth, & Trinh, 2022) y aumenten las tasas de mortalidad y morbilidad (EEA, 2024a); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012). • Riesgo de sobrecargas e interrupciones del suministro por combinación de baja producción hidroeléctrica, escasez de agua para refrigeración de centrales térmicas y con picos de demanda. Especialmente crítico para consumidores vulnerables (EEA, 2024a). • Riesgo de mayor competencia entre los usuarios del agua que derive en restricciones estrictas en su uso (EEA, 2024a), con afección especial a colectivos vulnerables. • Los niños y las personas mayores tienen generalmente mayores necesidades energéticas (IDAE, 2019). En 2019, el 17 % de los hogares contaba con la presencia de al menos un niño dependiente y un 21 % de los hogares eran unipersonales, ocupados principalmente por personas mayores de 65 años. Capacidad adaptativa muy condicionada por la disponibilidad de recursos económicos.
Maladaptación	• En la construcción y mejora de centrales, no mantener un equilibrio entre minimizar impactos y mantener la funcionalidad. Se debe dar prioridad a minimizar los impactos sociales y medioambientales negativos, sin comprometer su capacidad de generar electricidad y proporcionar servicios auxiliares e hídricos. • Centrar la adaptación únicamente en el parque de generación. Se debe complementar con adecuada gestión de los usos del suelo y del agua.
Género	Diferentes factores fisiológicos, de salud, económicos y sociales hacen a las mujeres más propensas a la pobreza energética y más vulnerables a este riesgo (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020) debido a su -generalmente- mayor expectativa de vida y sensibilidad al frío y menor nivel de ingresos y pensiones (Orkestra, 2023). En particular, las madres y mujeres solteras por observarse mayor probabilidad de tener problemas para el pago de sus facturas energéticas que los hombres solteros (Parlamento Europeo, 2023).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	El nivel mínimo del embalse (propio de cada central) y caudal mínimo necesario para la operación eficiente de las turbinas influyen en la capacidad para producir energía. La duración de la sequía también condiciona la capacidad para operar. En condiciones de sequía de larga duración, se suele limitar el uso del agua (asegurar la protección de los ecosistemas locales) y podrían verse alterados los procesos de erosión y sedimentación (afección a la estructura del cauce y su capacidad de recuperación). Casos muy extremos podrían llevar al cierre de plantas o la necesidad de obras de mayor envergadura.
Lock-in/Bloqueo	La generación de energía hidroeléctrica puede verse limitada por restricciones de caudal aguas abajo (por necesidades de irrigación o cuestiones ambientales) (IPCC, 2011). (Necesidad de programas de adaptación climática donde se desarrollen enfoques equilibrados entre la gestión del agua y la generación de energía (IRENA, 2021). Riesgo de carácter estacional. Posible aumento del riesgo para el suministro eléctrico en verano, por combinación de baja producción hidroeléctrica con alta demanda eléctrica, menor capacidad de red y baja eficiencia y escasez de agua para la operación de centrales térmicas (Garrido-Perez, Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021); (Fant, y otros, 2020). (La existencia de fuentes de energía alternativas condicionará la dependencia de fuentes vulnerables a las sequías (JRC, 2023). Agravamiento de los riesgos si continúan las inversiones en recursos fósiles (IPCC, 2022b).
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Instrumentos y planes: • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC 2021-2030. • Plan Nacional Integrado de Energía y Clima PNIEC 2023-2030. • Estrategia de descarbonización a Largo Plazo 2050. • Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética. • Estrategia de Almacenamiento Energético. • Estrategia de Transición Justa. • Reglamento (UE) 2019/941 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre la preparación frente a los riesgos en el sector de la electricidad y por el que se deroga la Directiva 2005/89/CE. • Real Decreto-Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. • Directiva 2006/32/CE sobre eficiencia energética del usuario final. • Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Medidas: • Mejora de la previsión hidrológica para optimizar las reglas operativas y el uso de la capacidad de las centrales. Gestión óptima del agua embalsada. • Proyecciones a largo plazo de disponibilidad de recurso hídrico y potencial de generación. Integración en las sucesivas planificaciones (MITECO, 2020) y revisión de la planificación de la operación y el mantenimiento. • Modernización de centrales hidroeléctricas e implementación de diseños flexibles (ajuste de capacidad según recurso disponible). Fomento de las centrales de bombeo. • Creación de entorno empresarial atractivo en torno a la hidroeléctrica. Impulso de incentivos y estructuras de apoyo financiero. • Actualización de las estructuras de mercado y modelos de negocio, para reconocimiento de servicios prestados por la hidroeléctrica (IRENA, 2023a). • Optimización de la planificación y gestión de las masas de agua (adaptación de instalaciones, reutilización y uso eficiente, etc.) (EEA, 2024a). Gestión de sequías. Políticas hídricas y revisión de prioridades de consumo. • Diversificación de las fuentes de energía (carga base baja en carbono, renovables y almacenamiento). Generación descentralizada que minimice el impacto de los cortes. • Gestión de la demanda (diseño de tarifas, flexibilidad de la demanda, pago por servicio, eficiencia energética) (IEA, 2023); (JRC, 2018).
Gobernanza de gestión del riesgo	Necesidad de enfoque integrado y coordinación de políticas entre las autoridades del agua y la energía (IRENA, 2021), ahondando en el nexo agua-energía mediante la realización de estudios que profundicen en este ámbito. Necesidad de impulsar la seguridad energética mediante la reducción de los riesgos de la cadena de suministro (Funcas, 2022). Actores: gobierno estatal (diferentes departamentos ministeriales y organismos de la Administración General del Estado), CC.AA., Diputaciones y Municipalidades; entidades públicas empresariales (tales como el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía-IDAE u otras de ámbito regional); Confederaciones Hidrográficas, propietarios y operadores de centrales hidroeléctricas; consumidores; servicios sociales y otros organismos de atención a colectivos vulnerables.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Aumentar la seguridad del suministro eléctrico. • Incorporar el concepto de planificación integrada en las estrategias energéticas a largo plazo, que no se enfoque únicamente en el suministro de energía, sino incorpore también los riesgos climáticos, las necesidades de almacenamiento y la gestión del agua. • Optimizar el mix de generación. • Mejorar la flexibilidad y capacidad de respuesta de la red. • Identificación temprana de puntos vulnerables. Anticiparse a los futuros problemas de la red. • Realización de estudios que profundicen en el nexo agua-energía. • Mejorar la gestión de las masas de agua y las sequías y anticiparse a los futuros problemas de abastecimiento de agua. Impulsar la reutilización y uso eficiente del agua. • Adaptar de forma anticipada y progresiva las plantas hidroeléctricas, optimizando su operación futura. • Reducir el precio de la energía. • Minimizar la demanda energética mediante la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones y los hábitos de consumo. • Aumento de la integración de energías renovables.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Una menor generación hidroeléctrica puede obligar a poner en marcha instalaciones más costosas y menos sostenibles o a importar más electricidad del exterior. • Una intensificación de los episodios de desequilibrio oferta-demanda podría retrasar la sustitución de los combustibles fósiles (Garrido-Perez, Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021).
Déficits de información	• No se ha encontrado información pública sobre umbrales específicos que caractericen el nivel de riesgo. Los umbrales generalmente son específicos de cada sistema hidroeléctrico. • No se ha encontrado información pública sobre estimaciones impacto económico.
Recomendaciones de priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, pero debe permanecer bajo observación para valorar su evolución. Requiere un seguimiento periódico. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.2. RC9.2: Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica

El segundo riesgo clave priorizado se corresponde con el **riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica.** Se trata de un riesgo reconocido en la literatura (Sanz & Galán, 2021); (MITECO, 2020a); (Solaun & Cerdá, 2019); (ADB, 2012) y hace referencia al riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de la red eléctrica de transporte y distribución como consecuencia de las altas temperaturas que proyectan los escenarios futuros, en caso de que se excedan los rangos de operación con lo que se han diseñado.

Las redes de transporte y distribución son el núcleo del sector eléctrico, teniendo un efecto vertebrador de cara a una transición energética que apuesta por la electrificación de la economía y requiere integrar proporciones crecientes de energía renovable para avanzar en la descarbonización. De acuerdo con el PNIEC, se espera para 2030 un aumento del consumo de electricidad de alrededor del 17 % con respecto al registrado en 2019 (MITECO, 2024). Esta relevancia para la operación del sector sería uno de los principales motivos por los que este riesgo se considera clave, a lo que se unen otras causas, descritas en detalle en el AMC, como la potencial afección observada (EEA, 2019), tanto por extensión geográfica como por población afectada, y sus potenciales efectos en cascada (Fant, y otros, 2020), que podrían afectar a otros sectores económicos, la salud y el bienestar humano (EEA, 2024a) en caso de producirse interrupciones del servicio.

La Figura 4 presenta la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. Sobre el riesgo clave actúan los peligros climáticos y otros factores que lo potencian. Del riesgo se derivan los potenciales impactos, así como otros riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores. Se trata de un riesgo íntimamente conectado con el cambio radical en los patrones de demanda de electricidad, que supone un riesgo para el suministro energético. La sinergia de ambos riesgos agravaría las consecuencias.

La Figura 4 muestra como el incremento previsto en las temperaturas a lo largo de este siglo sería el principal peligro que desencadena este riesgo clave al aumentar la resistencia de los conductores y reducir la eficiencia de los transformadores. Numerosos estudios y proyecciones confirman que las olas de calor son cada vez más frecuentes y graves en Europa y se estima que la probabilidad

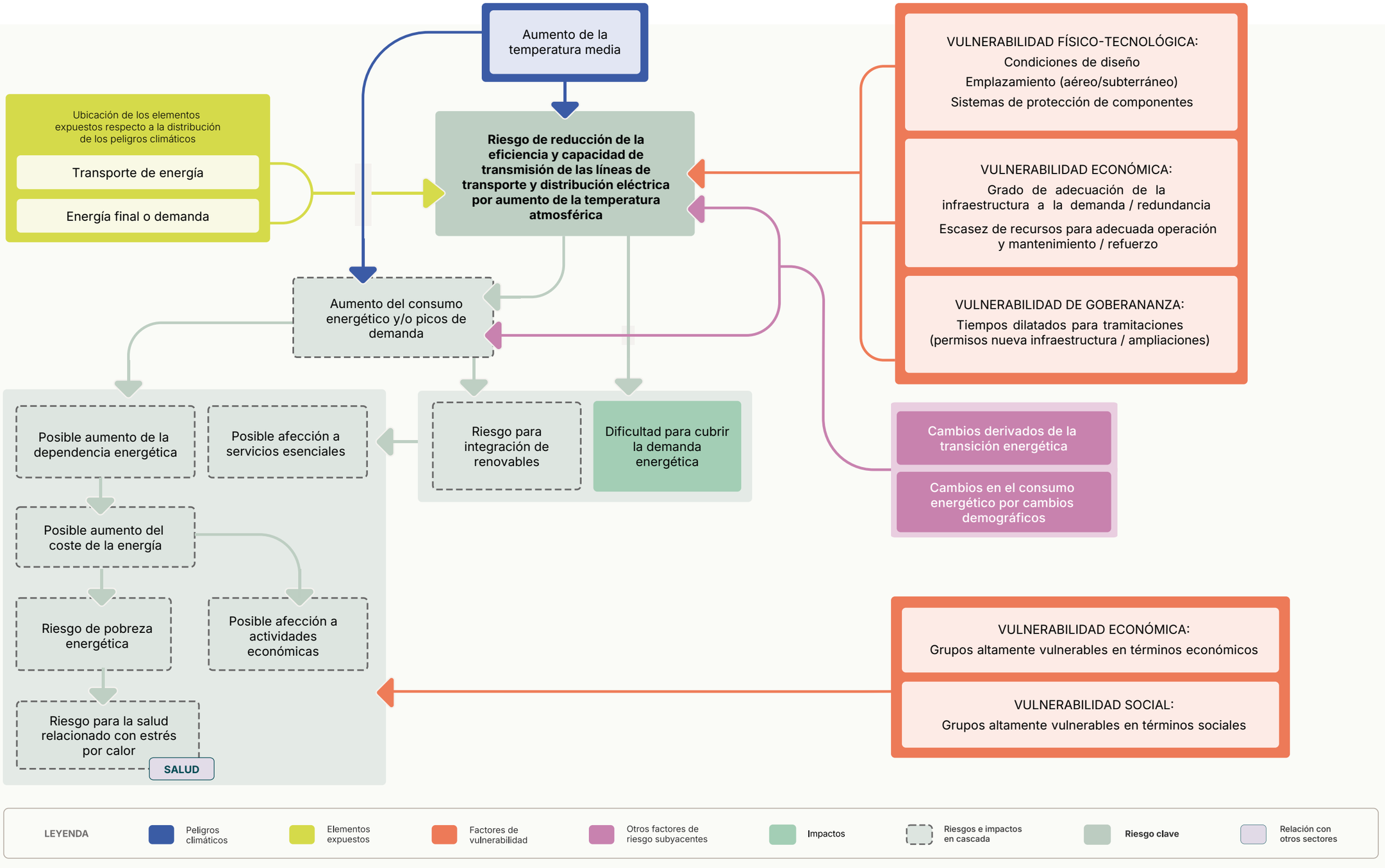


Figura 4. Cadena de impacto del riesgo clave de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica.

de que se produzcan temperaturas extremas sin precedentes aumentará significativamente ya en el período 2021-2050 (EEA, 2024a). De acuerdo con los escenarios de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2017) y el visor de escenarios de la Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático (AdapteCCa), bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se augura en España un incremento de 1,01 °C y de 1,2 °C, respectivamente, para el futuro cercano (2011-2040) y de 1,93 °C y 2,63 °C, respectivamente, para el futuro medio (2041-2070). Fruto de este aumento, se espera, además, olas de calor de mayor duración y frecuencia (MITECO, 2024a); (AEMET, 2017); (JRC, 2020), que será superior en el mediterráneo para ambos escenarios climáticos (AEMET, 2017).

La infraestructura de transporte y distribución se extiende por todo el país para conectar los centros de generación de energía eléctrica con los consumidores y conectar el sistema eléctrico español con los sistemas de los países vecinos. Toda ella se encuentra, por tanto, potencialmente expuesta al riesgo. Esta exposición aumentará en los próximos años, de acuerdo con las planificaciones desarrolladas de cara a cumplir los objetivos recogidos en el PNIEC (REE, 2022); (MITECO, 2024); (REE, 2024a). Sin embargo, este riesgo no afectará de igual manera a toda la infraestructura, sino que dependerá de varios factores.

La vulnerabilidad al riesgo vendrá definida fundamentalmente por factores propios de la instalación tales como el diseño de sus componentes o su grado de adecuación a las necesidades. Las redes se diseñan atendiendo a la generación, el nivel de tensión, la demanda eléctrica y el entorno en que se ubicarán, factores que determinan su configuración y los materiales a emplear y, con ello, los umbrales de operación en condiciones normales. Asimismo, existe generalmente una correlación entre altas demandas (que requieren circulación de mayores flujos de energía) y menor capacidad de red, lo que la hace más vulnerable (Fant, y otros, 2020). Es por ello que, en caso de calor extremo, las redes más congestionadas y/o aquellas menos prioritarias de cara a su mejora o refuerzo (en zonas más despobladas, por ejemplo), tendrían una mayor probabilidad de cortes de suministro al combinarse el calor extremo con aumentos de demanda que crean cuellos de botella en la red. Como consecuencia, se vería mermada la calidad del servicio en estas zonas.

Otra consecuencia de este riesgo estaría relacionada con la capacidad de la red eléctrica para integrar nueva generación. Aunque actualmente las redes están sobredimensionadas, la tendencia a la reducción de su capacidad de transformación y transmisión, unida a una mayor demanda eléctrica, podría convertirlas en cuello de botella y generar zonas más tensionadas en el futuro, afectando a la calidad del servicio y acelerando la necesidad de reforzarlas. Como consecuencia de todo ello, podría ralentizarse el avance de los planes de transición energética, al dificultar la incorporación de nueva capacidad renovable, con consecuencias sobre la seguridad del sumi-

nistro, el medioambiente y el precio de la energía. Un informe de la AIE identifica la necesidad de modernizar y ampliar todas las redes existentes en la actualidad a nivel mundial para 2040 (IEA, 2023a). En España se ha estimado que será necesario duplicar las inversiones en redes eléctricas respecto al periodo 2021-2026, para poder alcanzar los objetivos de la transición energética (de Aragón, 2023). De hecho, el PNIEC 2023-2030 ya contempla un incremento significativo de la inversión en redes, previsto en 52.360 millones de euros (un 17 % de la inversión total acumulada prevista) (MITECO, 2024). Con este objetivo, se ha elaborado la Propuesta de planificación de la red de transporte de electricidad con horizonte 2030 que plantea una inversión de 13.590 millones de euros hasta el final de la década (MITECO, 2025a). Ligado a esta Propuesta de planificación, se está trabajado también en un Proyecto de real decreto por el cual se regularán los planes de inversión de las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

Estos efectos en cascada podrían afectar negativamente a la actividad económica, la provisión de servicios esenciales y a consumidores vulnerables, pudiendo derivar en el agravamiento de situaciones de pobreza energética y el aumento de las tasas de mortalidad y morbilidad (enfermedades físicas y mentales) (EEA, 2024a); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012) (reconocido también en los sectores de *Salud humana*, *Ciudad, urbanismo y edificación*, *Industria y servicios y Paz, seguridad y cohesión social*). Cabe resaltar la especial vulnerabilidad de las mujeres, más propensas a la pobreza energética, y, en particular, madres y mujeres solteras y mujeres mayores de 65 años (Orkestra, 2023); (Parlamento Europeo, 2023); (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020).

Finalmente, este riesgo podría verse agravado por otros factores subyacentes que podrían incrementar la vulnerabilidad de las redes y favorecer los efectos en cascada. Algunos de ellos actúan sobre la demanda de energía, contribuyendo a modificar los patrones de consumo y las exigencias para el sistema. Tal es el caso de los cambios demográficos o de estilos de vida y de ciertos cambios derivados de la transición energética y el nuevo modelo energético (como la electrificación de demanda o el impulso a la eficiencia energética). Otros factores actuarán sobre la capacidad de suministro del sistema y su resiliencia (grado de penetración de fuentes renovables y almacenamiento, etc.).

Actualmente ya se trabaja en el diseño de redes más resilientes al cambio climático, no solo desde el punto de vista de los materiales empleados, su dimensionado o su refuerzo, sino también sofisticando los sistemas de monitorización e incluyendo tecnologías que permiten una mayor predictibilidad y mejoran la operación en tiempo real. Soluciones como el DLR (*Dynamic Line Rating*), que combina la tecnología IoT (*Internet of Things*) con la sensorización, permite maximizar el uso de la red, transportando más electricidad en momentos en que las condiciones son óptimas y favoreciendo una mayor integración de las energías renovables en zonas con alto potencial renovable.

Ficha 2. Análisis del riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Limitada	Sustancial	Sustancial
	La afección estándar por cada grado no sería significativa; quedarían dentro de los márgenes de error de predicción de la demanda. Umbral alto en el escenario actual. La digitalización de la red, el autoconsumo, la instalación de dispositivos DLR y la adaptación de los diseños contribuye a mitigar el riesgo.	Los porcentajes de variación por cada grado no son significativos; podrían quedar dentro de los márgenes de error de predicción de la demanda. Umbral alto en este escenario. El PNIEC fija el objetivo de electrificación en el 35 % a 2030 (MITECO, 2024). La digitalización de la red, el autoconsumo, la instalación de dispositivos DLR y la adaptación de los diseños contribuyen a mitigar el riesgo.	Se prevén múltiples impactos por calor en la transmisión de energía, aumentando los riesgos de interrupción del suministro, en particular en el sur de Europa (EEA, 2024a). En la gran mayoría de los escenarios, la transición energética de la UE requiere un aumento significativo de la electrificación, que llevará al 61 % para 2050 (Eurelectric, 2024). Interrupciones de duración corta (<24 horas) pueden tener un impacto sustancial. Si la interrupción es de duración mayor a 48 horas[8], impacto sustancial/crítico. En España, el coste de un apagón de un día de duración está estimado en 800 millones de euros por el Ministerio de Economía y en 1600 millones de euros por la CEOE (Dobetter, 2025).	En un escenario de 3 °C, lo que ahora es una ola de calor de 50 años podría ocurrir casi todos los años (JRC, 2020), aumentando los riesgos de interrupción del suministro. Una interrupción puede tener un impacto sustancial si es de duración corta (<24 horas) y sustancial/crítico si es de duración mayor a 48 horas. En España, el coste de un apagón de un día de duración está estimado en 800 millones de euros por el Ministerio de Economía y en 1600 millones de euros por la CEOE (Dobetter, 2025). Existen procedimientos para evitar interrupciones. La digitalización de la red, el autoconsumo, la instalación de dispositivos DLR y la adaptación de los diseños contribuyen a mitigar el riesgo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[8] Independientemente de las causas de la interrupción.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
			Existen procedimientos para evitar interrupciones. La digitalización de la red, el autoconsumo, la instalación de dispositivos DLR y la adaptación de los diseños contribuyen a mitigar el riesgo.	
Nivel de confianza:	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio
	No se han identificado análisis nacionales públicos del impacto de este riesgo, aunque sí se invierte en la monitorización DLR de parámetros meteorológicos (REE, 2024e). Existen estudios a nivel europeo y global, tales como (EA Technology, 2018); (CIGRE, 2014); (EEA, 2019); (Fant, y otros, 2020; Rademaekers & Van der Laan, 2011); (Martikainen, Pykälä, & J., 2007); (LBNL, 2011).	Se ha identificado algún estudio local y regional (Naturklima, 2021); (LIFE IP Urban Klima 2050, 2023). No hay datos nacionales, pero existe una percepción creciente del riesgo (EA Technology, 2018); (CIGRE, 2014); (EEA, 2019); (Fant, y otros, 2020); (EEA, 2024a); (Rademaekers & Van der Laan, 2011); (Martikainen, Pykälä, & J., 2007); (LBNL, 2011).	Se ha identificado algún estudio local y regional (Naturklima, 2021); (LIFE IP Urban Klima 2050, 2023). No hay datos nacionales, pero existe una percepción creciente del riesgo (EA Technology, 2018); (CIGRE, 2014); (EEA, 2019); (Fant, y otros, 2020); (EEA, 2024a); (Rademaekers & Van der Laan, 2011); (Martikainen, Pykälä, & J., 2007); (LBNL, 2011).	Se ha identificado algún estudio local y regional (Naturklima, 2021); (LIFE IP Urban Klima 2050, 2023). No hay datos nacionales, pero existe una percepción creciente del riesgo (EA Technology, 2018); (CIGRE, 2014); (EEA, 2019); (Fant, y otros, 2020); (EEA, 2024a); (Rademaekers & Van der Laan, 2011); (Martikainen, Pykälä, & J., 2007); (LBNL, 2011).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Intensificación de temperaturas y olas de calor en el corto plazo (hasta 2040) y *Medio plazo* (2041-2060) en el sur de Europa (EEA, 2024a). • El calor reduce el rendimiento en toda la cadena de valor (Diario mx, 2024) y, en algunos casos más extremos, podría producir desabastecimiento. • El índice de disponibilidad de la red ha ido disminuyendo en los 3 últimos años (REE, 2024).	• Impacto sobre líneas eléctricas, transformadores y otros equipos. Las instalaciones potencialmente vulnerables se encontrarían distribuidas por todo el país. Mayor exposición con la digitalización y la electrificación asociada a la transición energética (EY, 2024). Esta transición conlleva mayor demanda eléctrica y nuevos patrones de consumo que requerirán de ampliaciones y adaptación de la capacidad de las redes a las nuevas necesidades. • Posible afección a la calidad del servicio. Posible afección a todos los sectores económicos, la salud y el bienestar humano en caso de corte del suministro. Posible impacto a colectivos vulnerables (EEA, 2024a), observándose especial vulnerabilidad de las mujeres (Orkestra, 2023); (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020). • Mayor afección a líneas más congestionadas.	• El aumento de la temperatura disminuye la capacidad de carga de los cables y la carga nominal de las estaciones transformadoras (Martikainen, Pykälä, & J., 2007); (US DOE, 2011); (Fant, y otros, 2020). Además, existe una correlación entre altas demandas y menor capacidad de la red (Fant, y otros, 2020). La combinación de ambas podría crear cuellos de botella en la red. • La afección dependerá del material y diseño, nivel de voltaje, grado de adecuación a las necesidades, los sistemas de protección de los que disponga y la realización de un mantenimiento adecuado.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Podría existir un riesgo para la capacidad de suministro, no sólo a nivel nacional, sino también para las importaciones/exportaciones. Aunque actualmente el impacto para las importaciones/exportaciones podría ser muy limitado (dado el bajo nivel de interconexión), si se siguiera la senda de los objetivos europeos de interconexión (establecida en un 15 % para 2030 (REE, 2025a)), la afección podría volverse más relevante. Una mayor dependencia de la electricidad importada, sin un refuerzo adecuado de la red, puede generar problemas de seguridad energética e incrementar el riesgo de apagón (Torriti, 2017).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Territoriales	Salamanca, Guadalajara, Ávila, Cáceres y Murcia serían provincias especialmente vulnerables a las olas de calor (MITECO, s.f.); (Figueira, 2022). Mayor impacto en líneas muy congestionadas. Mayor demanda eléctrica asociada al uso de equipos de climatización en la zona mediterránea, seguida de la continental (IDAE, 2011). Mayor impacto en zonas más despobladas, menos prioritarias a la hora de mejorar o reforzar las redes. Teniendo en cuenta el valor de cada unidad de electricidad no suministrada (VoLL, Value of Lost Load); (Linares & Rey, 2013) establecen que una interrupción en el suministro tiene el coste económico más elevado en regiones como Madrid, Baleares y Canarias (más centradas en turismo y servicios, de elevada contribución al valor agregado bruto) y el coste menor en Asturias, Cantabria y Galicia (más industriales, con un coste económico por kWh de electricidad no suministrada más bajo).
Sociales	• Un corte de suministro afecta a todos los sectores económicos, la salud y el bienestar humano (EEA, 2024a). Puede impedir el uso de equipos eléctricos que sean necesarios para la supervivencia de determinados colectivos vulnerables, pudiendo elevar las tasas de mortalidad y morbilidad (EEA, 2024a). • Existen diferentes factores que hacen a ciertas personas u hogares más vulnerables, como factores relacionados con "la edad o el estado marital, el tipo de hogar, sus condiciones de salud, y, entre otros aspectos, su nivel de alfabetización energética" (Orkestra, 2023). Los niños y las personas mayores tienen generalmente mayores necesidades energéticas (IDAE, 2019). En 2019 el 17 % de los hogares contaba con la presencia de, al menos, un niño dependiente y un 21 % de los hogares eran unipersonales, ocupados principalmente por personas mayores de 65 años (IDAE, 2019). Capacidad adaptativa muy condicionada por la disponibilidad de recursos económicos. Las mujeres son más propensas a la pobreza energética, y, en particular, madres y mujeres solteras y mujeres mayores de 65 años (Orkestra, 2023); (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020).
Maladaptación	La planificación de las redes es un proceso lento, donde hasta ahora mucha de la inversión era reactiva (distribución, conexión de industria, etc.) (Energía y sociedad, 2024). La reforma de mercado eléctrico europeo reconoce la necesidad de incrementar las inversiones anticipadas. La Comisión Europea estima que se requerirán inversiones en redes por valor de unos 584.000 millones de euros de aquí a 2030. De manera general, la AIE recomienda que, por cada euro que se invierta en renovables, se inviertan 0,7 € en redes (1 € a partir de 2030), pero en España la inversión se sitúa actualmente en 0,45 € (Energía y sociedad, 2024). La transición energética requerirá aumentos del mallado de la red y una gestión óptima de oferta y demanda (Folch, Palau Garrabou, & Moreso Ventura, 2012). Sin embargo, el clima de incertidumbre regulatoria y desconfianza existente (Energía y sociedad, 2023) y los límites de inversión aún existentes en la actualidad (0,13 % del PIB para distribución[9] y 0,065 % del PIB para el transporte[10], en proceso de revisión), dificultan atraer la inversión necesaria en distribución. Nueva normativa actualmente en revisión (CNMC, 2024) reconoce la necesidad de diseñar un nuevo modelo retributivo y de gestión de inversiones adaptados a los nuevos retos que enfrenta el sistema, contribuyendo a atraer la inversión necesaria en las redes.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[9] Se excluyen las inversiones relativas a la digitalización.

[10] Se excluyen las inversiones en interconexiones.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
	El desarrollo y refuerzo de las redes tiene implicaciones sobre los territorios por los que discurre, pudiendo impactar sobre el territorio, el paisaje, la biodiversidad y la salud. Las evaluaciones ambientales tienen por objetivo la mejora de los proyectos (Folch, Palau Garrabou, & Moreso Ventura, 2012).
Género	Diversos estudios resaltan la mayor propensión de las mujeres a la pobreza energética, y, en particular, madres y mujeres solteras y mujeres mayores de 65 años (Orkestra, 2023); (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020). Los efectos en cascada de este riesgo podrían afectar de manera más acusada a estos colectivos.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	• En líneas generales, la energía transportada se podría reducir en un 0,20 % por cada grado de aumento de temperatura por encima de un umbral (Rademaekers & Van der Laan, 2011). La temperatura en la superficie del conductor debe permanecer dentro de los límites (entre 80 °C-90 °C) (ADB, 2013). • En estaciones transformadoras, la carga nominal podría reducirse en un 0,7-1 % por cada grado de aumento de temperatura por encima de un umbral (Martikainen, Pykälä, & J., 2007); (US DOE, 2011). • Estos umbrales de temperatura ambiente podrían ser de 20 °C-30 °C-40 °C, según ubicación y diseño de la instalación (IEC 60076-1); (IEC 60076-2). • Otros daños por sobrecalentamiento de la infraestructura (mayor degradación de componentes, disminución de vida útil, aumento de la flecha de líneas aéreas, etc.).
Lock-in/Bloqueo	En un sistema cada vez más electrificado, la posibilidad de que se reduzca el rango de operación segura y la eficiencia con la temperatura es un aspecto crítico. Se debe tener en cuenta, ya en el diseño, todo aquello que pueda comprometer la capacidad de abastecer la demanda. El desarrollo de las redes resulta complejo por la lentitud y complejidad de los procesos administrativos y la heterogeneidad de interlocutores y de criterios en la evaluación en función de la comunidad autónoma por donde discurre el trazado (Folch, Palau Garrabou, & Moreso Ventura, 2012). El desarrollo de las redes tiene implicaciones sobre los territorios por los que discurre, dificultando su inscripción. Resulta prácticamente imposible diseñar unos trazados para las nuevas líneas que no atraviesen espacios naturales y/o núcleos de población o enclaves habitados (rechazo social) (Folch, Palau Garrabou, & Moreso Ventura, 2012). En verano aumenta el riesgo para el suministro eléctrico al combinarse la menor eficiencia en el transporte de electricidad con el aumento de demanda de refrigeración y menor disponibilidad de recursos hídricos que afectan a la operación de centrales hidroeléctricas, térmicas y de bombeo (Garrido-Perez, Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021). Agravamiento de los riesgos si continúan las inversiones en recursos fósiles (IPCC, 2022b).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Instrumentos y planes: • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC 2021-2030. • Plan Nacional Integrado de Energía y Clima PNIEC 2021-2030. • Estrategia de descarbonización a Largo Plazo 2050. • Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética. • Estrategia de Almacenamiento Energético. • Estrategia de Transición Justa. • Reglamento (UE) 2019/941 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre la preparación frente a los riesgos en el sector de la electricidad y por el que se deroga la Directiva 2005/89/CE. • Real Decreto-Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. • Planificación de la red de transporte (planificación 2021-2026; 2025-2030). • Diversa normativa y regulación técnica relativa a la red eléctrica (Real Decreto 223/2008, UNE 21144, UNE 211435, IEC 60076, etc.). • Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. Medidas: • Estimación del impacto del cambio climático en las temperaturas y la funcionalidad y resiliencia de las redes de transporte y distribución. Integración en la planificación de la transición energética y de las redes (MITECO, 2020). • Refuerzo de la inversión en redes y priorización del fortalecimiento de las interconexiones internacionales (Energía y sociedad, 2023); (REE, 2024a). • Diseño de la nueva infraestructura eléctrica teniendo en cuenta las proyecciones climáticas (EEA, 2019). Protección del equipamiento térmicamente sensible. • Mantenimiento predictivo, basado en datos de rendimiento. Refuerzo de las redes y provisión de rutas alternativas. • Digitalización de las redes eléctricas. • Generación descentralizada de energía, más cercana a los puntos de consumo. • Gestión de la demanda (diseño de tarifas, reducción voluntaria, pago por servicio, eficiencia energética) y lucha contra el fraude eléctrico (conexiones no autorizadas) (IEA, 2023); (JRC, 2018) ayudan a evitar sobrecargas y minimizar cuellos de botella en la red que pudieran verse agravados por picos de demanda o demandas no planificadas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	Actores: gobierno estatal (diferentes departamentos ministeriales y organismos de la Administración General del Estado), CC.AA., Diputaciones y Municipalidades; entidades públicas empresariales (tales como el IDAE u otras de ámbito regional); empresas energéticas, sobre todo, operador del sistema eléctrico y gestores de las redes de distribución; prosumidores.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Aumentar la seguridad del suministro eléctrico. • Mejorar la flexibilidad y capacidad de respuesta de la red. • Identificación temprana de puntos vulnerables. Anticiparse a los futuros problemas de la red. • Mejorar la calidad del servicio y la seguridad de las infraestructuras. • Minimizar la demanda energética mediante la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones y los hábitos de consumo.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Las redes de transporte y distribución tienen un efecto vertebrador de la transición energética. En caso de no atender la inversión necesaria en redes (MITECO, 2022), podrían convertirse en el eslabón débil de la transformación del sector, afectando a su descarbonización (IEA, 2023a); (Comisión Europea, 2023). • Posible afección si la interrupción del suministro en zonas congestionadas obliga a poner en marcha generadores portátiles basados en combustibles fósiles. Alternativa, gases renovables.
Déficits de información	No se ha identificado información pública sobre la afección actual de este riesgo. No se ha identificado información pública sobre metodologías y umbrales estandarizados para la evaluación de impactos. No se ha identificado información pública sobre estimaciones de impacto económico.
Recomendaciones de priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, pero debe permanecer bajo observación para valorar su evolución. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.3. RC9.3: Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas

Por último, se ha priorizado el **riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas.** Se trata de un riesgo reconocido en la literatura (Sanz & Galán, 2021); (MITECO, 2020a); (IHOBE, 2020) y que hace referencia al riesgo que podría suponer para el suministro energético que se produzcan cambios radicales en los patrones de demanda de electricidad como consecuencia de las altas temperaturas que proyectan los escenarios futuros.

Dentro del proceso de transición energética, la demanda energética juega un papel clave para la descarbonización del país (MITECO, 2020); (MITECO, 2024). Ante los aumentos de temperatura que apuntan las proyecciones, resulta esencial cuantificar su impacto en la demanda de energía e implementar medidas para evitar o limitar los picos de demanda, en especial aquellos asociados a episodios de calor extremo. Es este uno de los ámbitos de trabajo del PNACC y el PNIEC (MITECO, 2020); (MITECO, 2024). El PNIEC prevé para 2030 un ascenso del 16,4 % del consumo eléctrico final para usos energéticos respecto al de 2019 (MITECO, 2024), perfilándose como principales impulsores, no sólo el cambio climático, sino también la descarbonización de la economía, la transición del sistema energético hacia uno basado en renovables, la electrificación de los usos finales de la energía, el aumento de la población, la urbanización y los cambios en los estilos de vida (Economics for Energy, 2017); (Troccoli, 2018); (MITECO, 2024). La relevancia de este riesgo para el sector energético sería uno de los principales motivos por los que se ha considerado como clave, pero existen otras causas que quedan descritas en detalle en el AMC. Entre ellas estarían el alto nivel de confianza en la materialización del peligro (EEA, 2024a); (JRC, 2020) y su potencial impacto a muy corto plazo, dado que ya se experimentan en Europa interrupciones significativas en el suministro de energía durante condiciones excepcionalmente secas y calurosas, en particular en regiones del sur (EEA, 2024a).

A futuro, el impacto esperado sería mayor, con consecuencias muy relevantes, tanto por su alcance en términos de extensión geográfica y población afectada (JRC, 2018) como desde el punto de vista económico (CMCC, 2021), sin olvidar los potenciales efectos en cascada en caso de producirse incremento en los precios de la energía e interrupciones del servicio (Fant, y otros, 2020). Las consecuencias podrían alcanzar a otros sectores económicos, la salud y el bienestar humano (EEA, 2024a) (reconocido también en los ámbitos de *Salud humana*, *Ciudad, urbanismo y edificación, Industria y servicios y Paz, seguridad y cohesión social*) y evidenciar situaciones de pobreza energética por su especial incidencia sobre colectivos sin recursos y vulnerables que

habiten en viviendas mal aisladas y tengan mayor dependencia de los sistemas de refrigeración para sobrevivir (EEA, 2024a); (Pérez, 2023); (Awaworyi Churchill, Smyth, & Trinh, 2022); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012). Sin embargo, cabe resaltar que las causas que subyacen tras la pobreza energética son más complejas que la mera pobreza económica y existen diferencias por género, ya que los hombres y las mujeres presentan necesidades energéticas y vulnerabilidades diferentes, encontrando entre estas últimas los colectivos con mayor exposición (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020); (Orkestra, 2023); (Parlamento Europeo, 2023).

De acuerdo con la EEA (EEA, 2024a), a *Medio plazo* (2041-2060) cabría esperar un mayor riesgo de interrupción del suministro energético, en particular en el sur de Europa (riesgo crítico, confianza media). Por otro lado, se observa una capacidad de recuperación limitada, puesto que podría requerir recursos económicos significativos y un plazo medio de tiempo para realizar ampliación de capacidades que minimicen las interrupciones del servicio.

La **Figura 5** presenta la cadena de impacto de este riesgo clave que refleja los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) y los impactos derivados de dichos componentes. Sobre el riesgo clave actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. De él se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores. Tal y como se observa en la cadena de impacto, se trata de un riesgo íntimamente conectado al riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de la red eléctrica de transporte y distribución, de tal forma que la sinergia de ambos riesgos agravaría las consecuencias.

La **Figura 5** muestra el incremento previsto en las temperaturas como principal peligro desencadenante de este riesgo clave. De acuerdo con los estudios existentes, se observa una mayor intensidad, frecuencia y duración de las olas de calor en Europa, en especial, en el mediterráneo y en las grandes ciudades (MITECO, 2024a); (JRC, 2020); (AEMET, 2017). A futuro esta tendencia se mantiene, aumentando de manera significativa la probabilidad de que se produzcan temperaturas extremas sin precedentes ya en el período 2021-2050 (EEA, 2024a). Para la península Ibérica, diversas fuentes muestran un aumento sustancial de las temperaturas en escenarios futuros, especialmente hacia finales de siglo, siendo estos más acusados para la temperatura máxima y más bajos (aunque todavía significativos) para la temperatura mínima (Carvalho, Pereira, & Rocha, 2021); (MITECO, 2024a). Bajo escenario RCP 8.5 se prevén aumentos de la temperatura media diaria (respecto al periodo histórico 1986-2005) de entre 1,5 y 2,5 °C para el período 2046-2065, registrándose los valores más altos en áreas de interior del centro y sur, en la Cordillera Cantábrica y Pirineos, y los más bajos en áreas costeras, en particular la costa atlántica norte (con incertidumbre en ciertas regiones) (Carvalho, Pereira, & Rocha, 2021); (MITECO, 2024a). Con un patrón espacial similar, para el período 2081-2100 se prevén aumentos de entre 2,5 °C (costa atlántica

norte) y 5,2 °C (Andalucía) (consenso alto) (Carvalho, Pereira, & Rocha, 2021); (MITECO, 2024a).

Respecto a los eventos de temperatura extrema, se proyectan aumentos en los días calurosos (temperatura media superior a 30 °C), muy calurosos (temperatura máxima superior a 40 °C) y noches tropicales. A finales de siglo los incrementos podrían ser de 40-60 días/año, 30-40 días/año y 50-80 noches/año, respectivamente (RCP 8.5) (MITECO, 2024a); (Carvalho, Pereira, & Rocha, 2021). Este tipo de eventos aumentan las necesidades de refrigeración, y con ello el consumo energético asociado, tanto por los equipos de refrigeración ya existentes como por la instalación de nuevos equipos en viviendas y locales que actualmente no disponen de él (EEA, 2024a); (JRC, 2018). Es clave, en este aumento de necesidades de refrigeración, el estado de los edificios y su nivel de aislamiento, y la vulnerabilidad de este riesgo clave estará condicionada principalmente por la eficiencia energética de los equipos de refrigeración empleados y por el tipo de consumidor y su naturaleza, siendo los colectivos más vulnerables los que podrían demandar más energía (EEA, 2024a). Tal y como se indicaba anteriormente, muchos de ellos no cuentan con equipos de climatización de alta eficiencia que reduzcan el consumo energético y su factura, y en ocasiones no pueden asumir su coste, agravando situaciones de pobreza energética (Awaworyi Churchill, Smyth, & Trinh, 2022).

Las instalaciones potencialmente vulnerables se encuentran distribuidas por todo el país, aunque a futuro sería el noroeste de España el que podría experimentar cambios más extremos en la demanda eléctrica al cambiar sus habituales veranos templados por otros algo más extremos, aunque con un menor calentamiento que en otras regiones (Pérez, 2023); (Garrido-Perez J. , Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021).

La consecuencia más inmediata de este riesgo sería la dificultad para gestionar picos de demanda para los que el sistema no esté diseñado. Ello podría derivar en problemas de seguridad de suministro, especialmente en momentos en los que la disponibilidad de energía de origen renovable sea limitada (por ejemplo, durante periodos de bajo recurso eólico, sequía hidrológica o episodios de calor extremo que mermen la eficiencia de los paneles solares). En tales situaciones, podría ser necesario diversificar las fuentes poniendo en marcha instalaciones más costosas y menos sostenibles, o incluso importar electricidad del exterior.

La seguridad de suministro también depende del estado de la infraestructura de generación, almacenamiento y transporte. Factores como su antigüedad, su grado de adecuación a las necesidades actuales y futuras y su estado de mantenimiento condicionan su capacidad para satisfacer la demanda y adaptarse a los cambios. Durante episodios de calor extremo las infraestructuras más congestionadas y aquellas menos prioritarias de cara a su mantenimiento, mejora o refuerzo (en zonas con bajo crecimiento poblacional o menor volumen de actividad industrial y comercial, por ejemplo) podrían no ser capaces de mantener el servicio. En este sentido, la simplicidad y

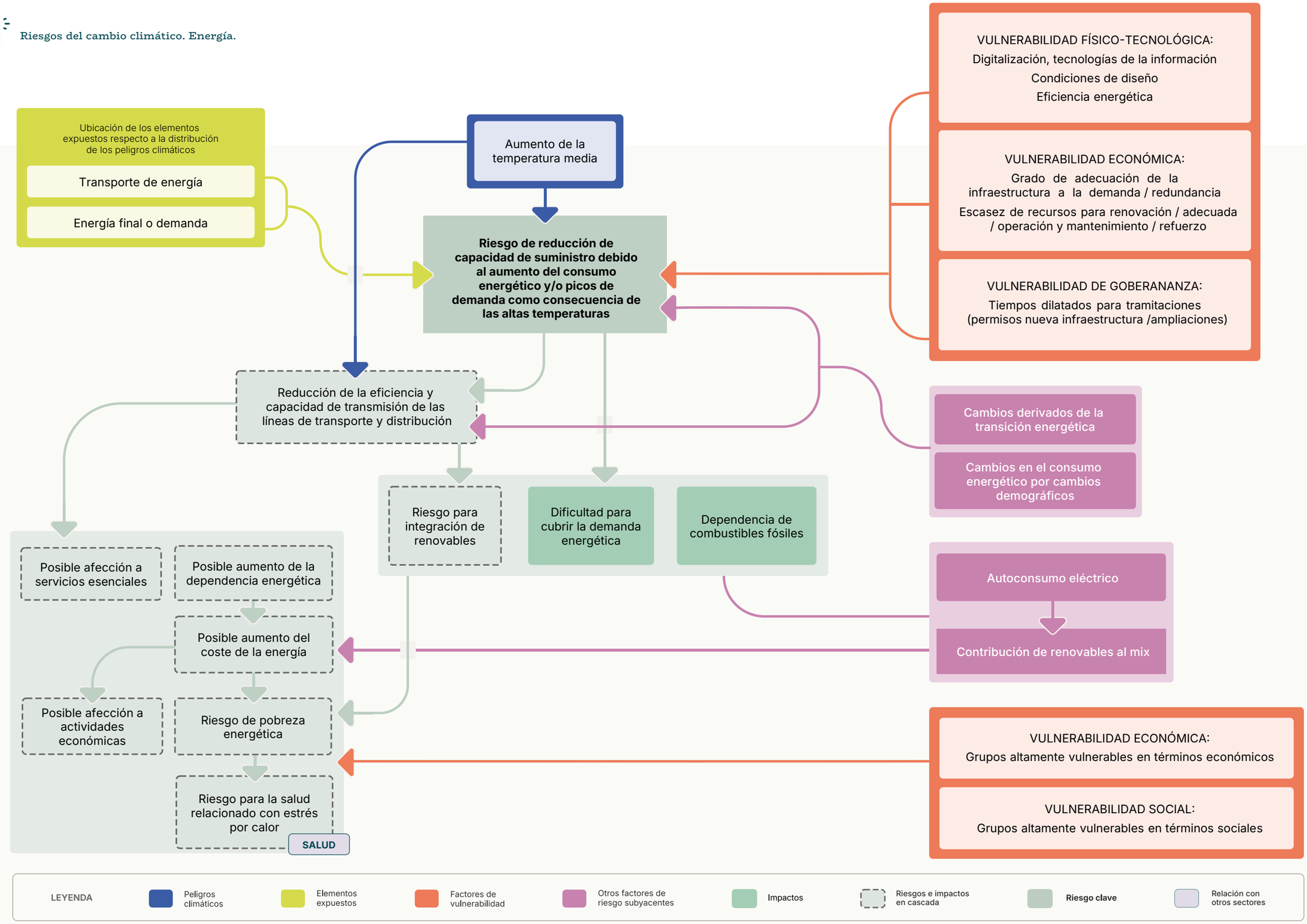


Figura 5. Cadena de impacto del riesgo clave de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas.

agilidad en la tramitación de permisos para la mejora o ampliación de infraestructuras condiciona su capacidad de adaptación y, con ello, su vulnerabilidad.

Por otro lado, existen otros factores de riesgo subyacentes que pueden agravar tanto la exposición como la vulnerabilidad del sector a este riesgo. Cabe destacar, por un lado, factores que contribuyen a modificar los patrones de consumo y, con ello, las demandas para el sistema. Factores como el crecimiento demográfico, la urbanización, los cambios en los estilos de vida, la progresiva electrificación de los usos finales o el impulso a la eficiencia energética serían algunos ejemplos. Por otro lado, estarían los factores que inciden sobre la capacidad de suministro del sistema y su resiliencia, tales como el grado de penetración de fuentes renovables, el desarrollo de sistemas de almacenamiento o la mejora y modernización de las redes. Las interrupciones de suministro que se deriven podrían resultar críticas para la actividad económica de diversos sectores, y en especial para la provisión de servicios esenciales y el suministro de los consumidores más vulnerables, tal y como se ha resaltado al comienzo de este apartado.

Ficha 3. Análisis del riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Limitada	Sustancial	Sustancial
	Interrupciones ocasionales del suministro en líneas muy congestionadas. Una encuesta nacional (INE, 2023) recoge que el 33,6 % no tiene una temperatura suficientemente fresca (inferior a 25°C) durante el verano. Se realizan inversiones periódicas en la red para garantizar la calidad y seguridad del suministro. (EEA, 2024a); (REE, 2022); (MITECO, 2024); (MITECO, 2025a).	En el sur de Europa se prevé un aumento progresivo de la duración y la intensidad de las olas de calor, junto con una creciente urbanización y envejecimiento de la población. Estos factores contribuyen a aumentar la población vulnerable y los riesgos para la salud (EEA, 2024a). No se observan limitaciones significativas para hacer frente al riesgo.	En el sur de Europa se prevé un aumento de la duración y la intensidad de las olas de calor, junto con una creciente urbanización y envejecimiento de la población. Aumento de la población vulnerable y los riesgos para la salud. En 2050, los ciudadanos mayores de 65 años constituirán casi el 30 % de la población (EEA, 2024a). Mayor riesgo de interrupción del suministro energético por impactos en la producción, transmisióny demanda de energía en el sur de Europa (EEA, 2024a). Su impacto puede ser sustancial si la interrupción es de duración corta (<24 horas) y sustancial/crítico si es de duración mayor a 48 horas[11].	En España, riesgo por ola de calor significativamente mayor en un escenario de 3 °C que en un escenario de 1,5° C (JRC, 2020). Lo que actualmente es una ola de calor de 50 años podría ocurrir casi todos los años (JRC, 2020). En el sur de Europa se prevé una creciente urbanización y envejecimiento de la población. Aumento de la población vulnerable y los riesgos para la salud (EEA, 2024a). CMCC[12] estima en más del 1 % del PIB las pérdidas macroeconómicas en algunas regiones del sur de Europa en escenarios de emisiones medias y altas por el incremento de las necesidades de refrigeración (CMCC, 2021).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[11] Independientemente de las causas de la interrupción.

[12] Euro-Mediterranean Center on Climate Change.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5°C)	Medio plazo 2041-2060 (2°C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4°C)
			En España, el coste de un apagón de un día de duración está estimado en 800 millones de euros por el Ministerio de Economía y en 1600 millones de euros por la CEOE (Dobetter, 2025). El autoconsumo, las predicciones diarias y la planificación de las redes podrían mitigar el riesgo. Existen procedimientos para evitar interrupciones del suministro.	Potencial aumento del riesgo de interrupción de suministro por sinergia con sequías (que impactan sobre la generación de energía) y menor capacidad de redes (Garrido-Perez, Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021). Interrupciones de duración corta (<24 horas) pueden tener un impacto sustancial. Interrupciones de duración mayor a 48 horas podrían tener impacto sustancial/crítico. En España, el coste de un apagón de un día de duración está estimado en 800 millones de euros por el Ministerio de Economía y en 1600 millones de euros por la CEOE (Dobetter, 2025). El autoconsumo, las predicciones diarias y la planificación de las redes podrían mitigar el riesgo. Existen procedimientos para evitar interrupciones del suministro.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio
	No se ha identificado información nacional pública sobre la afección actual de este riesgo al sistema. Existen estudios a nivel europeo y global, tales como (EEA, 2024a); (JRC, 2018); (Economics for Energy, 2017).	No se ha identificado información cuantitativa del impacto del riesgo, pero existe una percepción creciente del riesgo (EEA, 2024a); (JRC, 2018); (Economics for Energy, 2017).	No se ha identificado información cuantitativa del impacto del riesgo, pero existe una percepción creciente del riesgo (EEA, 2024a); (JRC, 2018); (Economics for Energy, 2017).	No se ha identificado información cuantitativa del impacto del riesgo, pero existe una percepción creciente del riesgo (EEA, 2024a); (JRC, 2018); (Economics for Energy, 2017).

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Intensificación de temperaturas y olas de calor en el corto plazo (hasta 2040) y *Medio plazo* (2041-2060) en el sur de Europa (EEA, 2024a). • Existe una correlación clara entre la temperatura y los niveles de consumo eléctrico (ventilación, refrigeración, etc.) (Figueira, 2022).	• El 41 % del parque de viviendas en el mercado en España tiene aire acondicionado (Idealista, 2024). Potencial aumento a futuro por aumento de olas de calor (Scoccimarro 2023). Instalaciones distribuidas por todo el país. • La refrigeración supuso, en 2022, el 2,3 % del consumo eléctrico total del sector residencial (MITECO, 2022b). • Posible impacto a colectivos vulnerables.	• Consumo de electricidad para refrigeración condicionado por la ubicación, la penetración de equipos de aire acondicionado en los edificios y la calidad térmica del parque inmobiliario (Scoccimarro, y otros, 2023). Grado de impacto muy influido por la eficiencia de los equipos (IDAE, 2011). • Posible sobrecarga de líneas eléctricas, transformadores y otros equipos (Figueira, 2022). Riesgo de cortes de energía condicionado por la antigüedad de la infraestructura, su mallado y grado de adecuación a las necesidades y la realización de un mantenimiento adecuado.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los cambios radicales en los patrones de demanda de electricidad pueden afectar de forma notable al sistema eléctrico. Impacto más evidente para un sistema eléctrico renovable (Kan, Reichenberg, & Hedenus, 2021). Podría requerirse mayor importación de electricidad del exterior. No siempre es factible. Una mayor dependencia de la electricidad importada, sin un refuerzo adecuado de la red, puede generar problemas de seguridad energética (Torriti, 2017).
Territoriales	Mayor aumento de grados-día de refrigeración en Salamanca, Guadalajara, Ávila, Cáceres y Murcia (MITECO, s.f.); (Figueira, 2022). Mayor incremento de demanda en el sector residencial, seguido del sector servicios (Figueira, 2022).En lo que se refiere a la distribución de los hogares que disponen de algún sistema de refrigeración o regulación de temperatura, la zona mediterránea sería la que dispone de más equipos, seguida de la continental (IDAE, 2011). Mayor impacto en líneas muy congestionadas y/o en las zonas más despobladas, menos prioritarias a la hora de mejorar o reforzar las redes.
Sociales	• Nivel de riesgo condicionado por el tipo de consumidor y el nivel de eficiencia energética de los edificios (Orkestra, 2023). • Los niños y las personas mayores tienen generalmente mayores necesidades energéticas (IDAE, 2019). En 2019 el 17 % de los hogares contaba con la presencia de al menos un niño dependiente y un 21 % de los hogares eran unipersonales, ocupados principalmente por personas mayores de 65 años (IDAE, 2019). • Riesgo de aumento del precio de la energía y cortes de energía por aumento de demanda (Kan, Reichenberg, & Hedenus, 2021). Mayor afección a personas vulnerables, por lo que se agravarían situaciones de pobreza energética (Awaworyi Churchill, Smyth, & Trinh, 2022), ya sea por dedicar un alto porcentaje de los ingresos (más del 10 %) a sufragar la factura energética o por no poder mantener el hogar a una temperatura adecuada (ICAI, 2024), aumentando las tasas de mortalidad y morbilidad (EEA, 2024a). • Capacidad adaptativa muy condicionada por la disponibilidad de recursos económicos. Personas en situación de pobreza sin presupuesto para mejorar su vivienda (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012) o viviendo de alquiler, sin capacidad para mejorar las viviendas. Propietarios arrendadores sin incentivos para realizar mejoras, ya que la factura la asumen los inquilinos (Altekio, 2024).
Maladaptación	• El aumento de la implementación de aire acondicionado como principal método de adaptación, agravando situaciones pobreza energética, intensificando el efecto isla de calor urbana y perjudicando la mitigación del cambio climático (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012). • Uso de sistemas de climatización y tecnologías poco eficientes. • Implementación de medidas de contención de la demanda que agraven situaciones de pobreza energética. • El dimensionado del sistema para satisfacer los futuros periodos de demanda extrema hace la red más ineficiente (Garrido-Perez, Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Género	Diferentes factores fisiológicos, de salud, económicos y sociales hacen a las mujeres más propensas a la pobreza energética y más vulnerables a este riesgo (Orkestra, 2023); (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020). En particular, las madres y mujeres solteras (Parlamento Europeo, 2023).

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Impacto directo en las necesidades de refrigeración residencial por encima de un umbral de 250 grados-día de refrigeración (JRC, 2018).
Lock-in/Bloqueo	Tendencia hacia un cambio a verano de los días de demanda eléctrica extrema (MITECO, 2024a). Potencial aumento del riesgo por sinergia con sequías que impactan sobre la generación de energía y menor capacidad de redes (Garrido-Perez, Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021). Agravamiento de los riesgos si continúan las inversiones en recursos fósiles (IPCC, 2022b) y en construcción de edificios poco eficientes (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012). Retrasos en la transposición de la Directiva Europea de Eficiencia Energética de los Edificios al Código Técnico de la Edificación (CTE). Gran impacto sobre el sistema eléctrico de los cambios radicales en el patrón de demanda de electricidad. Impacto mayor para un sistema eléctrico renovable (Kan, Reichenberg, & Hedenus, 2021).
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Instrumentos y planes: • Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático PNACC 2021-2030. • Plan Nacional Integrado de Energía y Clima PNIEC 2021-2030. • Estrategia de descarbonización a Largo Plazo 2050. • Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética. • Estrategia de Almacenamiento Energético. • Hoja de ruta de Autoconsumo. • Estrategia de Transición Justa. • Directiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de septiembre de 2023 relativa a la eficiencia energética y por la que se modifica el Reglamento (UE) 2023/955. • Código Técnico de Edificación. • Programas de Rehabilitación Energética de Edificios. • RESEE. Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España. • PRTR, componentes de rehabilitación.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• Reglamento (UE) 2019/941 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre la preparación frente a los riesgos en el sector de la electricidad y por el que se deroga la Directiva 2005/89/CE. • Real Decreto-Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. • Estrategia Nacional contra la Pobreza Energética 2019-2024. Medidas: • Estimación del impacto del cambio climático en las temperaturas y demandas. Integración en la planificación de la transición energética (MITECO, 2020). • Refuerzo y digitalización de las redes eléctricas. • Aumento de la contribución de las energías renovables al mix energético y fomento del autoconsumo eléctrico. • Gestión de la demanda (almacenamiento, diseño de tarifas, reducción voluntaria, pago por servicio, eficiencia energética), medidas de mitigación del efecto isla de calor urbano y lucha contra el fraude eléctrico (conexiones no autorizadas) (IEA, 2023); (JRC, 2018); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012) ayudan a reducir la demanda y los picos, así como a evitar demandas no planificadas. • Actuaciones en favor de consumidores y empresas vulnerables para la lucha contra el cambio climático y la pobreza energética mediante la acción climática (por ejemplo, Plan Social para el Clima, diseño de edificios resilientes al clima, erradicación de las islas de calor, etc.) (MITECO, 2025); (MITECO, 2020b); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012).
Gobernanza de gestión del riesgo	Necesidad de abordar el riesgo de picos de demanda de energía a nivel político (Torriti, 2017); (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012) y de impulsar la seguridad energética mediante la reducción de los riesgos de la cadena de suministro (Funcas, 2022). Actores: gobierno estatal (diferentes departamentos ministeriales y organismos de la Administración General del Estado), CC.AA., Diputaciones y Municipalidades; entidades públicas empresariales (tales como el IDAE u otras de ámbito regional); empresas energéticas (generadores, REE y distribuidoras, comercializadoras, empresas de servicios energéticos); consumidores; servicios sociales y otros organismos de atención a colectivos vulnerables; líderes de opinión e influenciadores sociales.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Aumentar la seguridad del suministro eléctrico. • Mejorar la flexibilidad y capacidad de respuesta de la red. • Identificación temprana de puntos vulnerables. Anticiparse a los futuros problemas de la red. • Minimizar la demanda energética mediante la mejora de la eficiencia energética de las edificaciones y los hábitos de consumo. • Combatir la pobreza energética en condiciones climáticas extremas (puesta en marcha de protocolos para la detección de situaciones de pobreza energética, formación en hábitos de consumo energético, bono social térmico y eléctrico, alquiler social a colectivos vulnerables con subvención para gastos energéticos, subvenciones y desgravaciones fiscales a la rehabilitación energética, etc.) (Sánchez-Guevara Sánchez, y otros, 2020).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Los picos de demanda pueden obligar a poner en marcha instalaciones más costosas y menos sostenibles o a importar más electricidad del exterior. Una intensificación de los episodios de desequilibrio oferta-demanda podría retrasar la sustitución de los combustibles fósiles (Garrido-Perez, Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021). • El aumento de la implementación de aire acondicionado, como principal método de adaptación al riesgo, perjudica la mitigación del cambio climático (Ürge-Vorsatz & Tirado Herrero, 2012). Por su parte, la promoción y financiación de inversiones en equipos de alta eficiencia (bombas de calor, aire acondicionado,...) beneficia al proceso de descarbonización, al mismo tiempo que mitiga el riesgo. • El autoconsumo puede contribuir a mitigar el riesgo, favoreciendo al mismo tiempo la mitigación del cambio climático.
Déficits de información	• No se ha identificado información cuantitativa del riesgo bajo escenario actual y de cambio climático. • No se ha identificado información pública sobre la afección actual de este riesgo al sistema. • No se ha identificado información pública sobre estimaciones del impacto económico del riesgo.
Recomendaciones de priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, pero debe permanecer bajo observación para valorar su evolución. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo de riesgos complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada “centralidad de cercanía” muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la “centralidad de intermediación” revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial de Energía se basa en los resultados obtenidos en este análisis general de riesgos complejos.

A continuación, se esbozan los grafos de cada riesgo clave (ver de la **Figura 6** a la **Figura 8**).

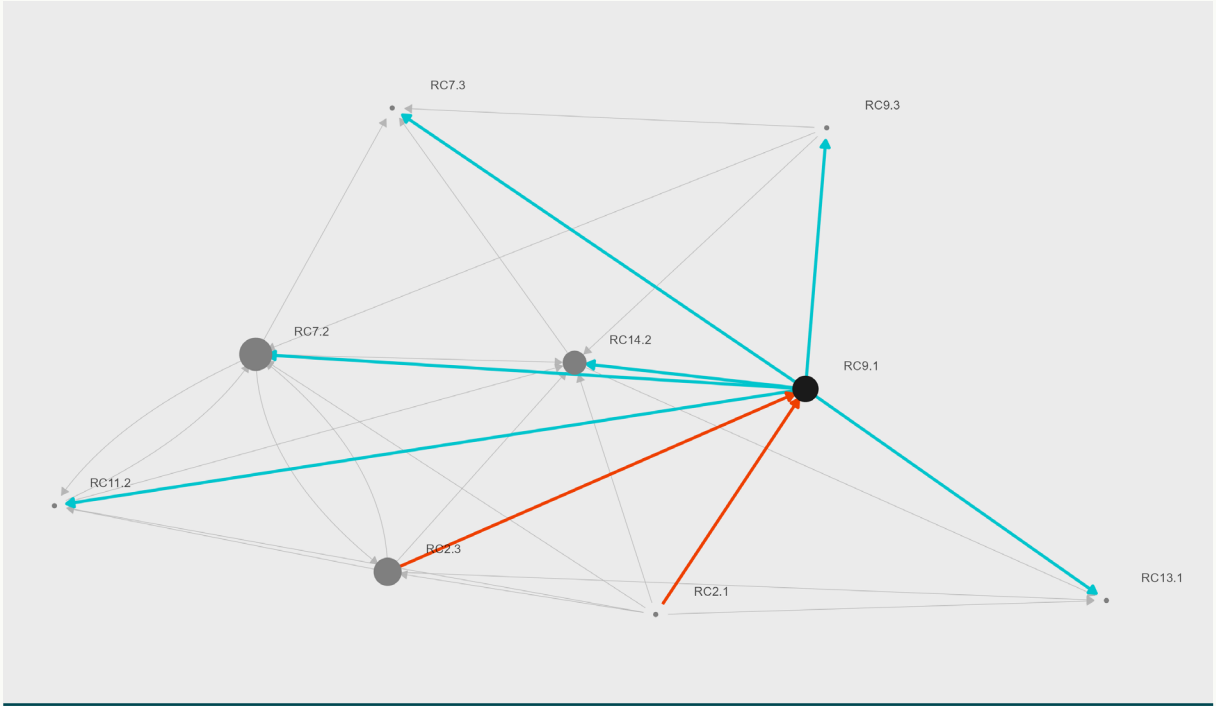


Figura 6. Grafo del Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

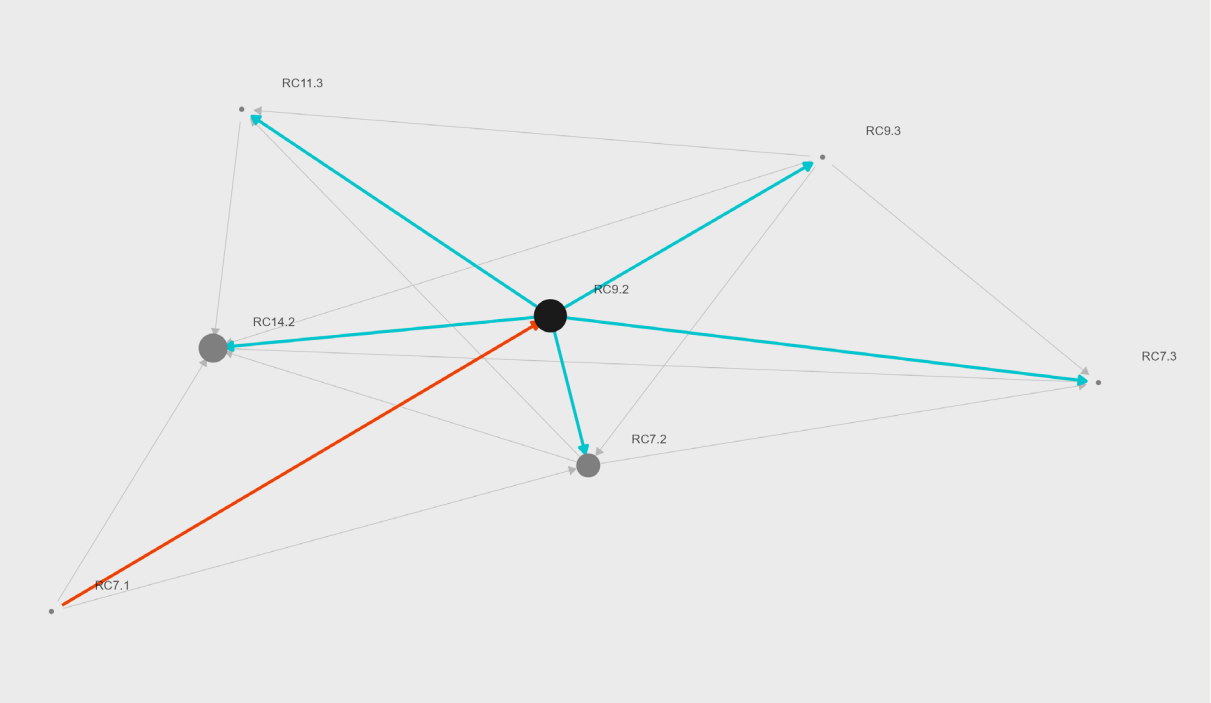


Figura 7. Grafo del Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

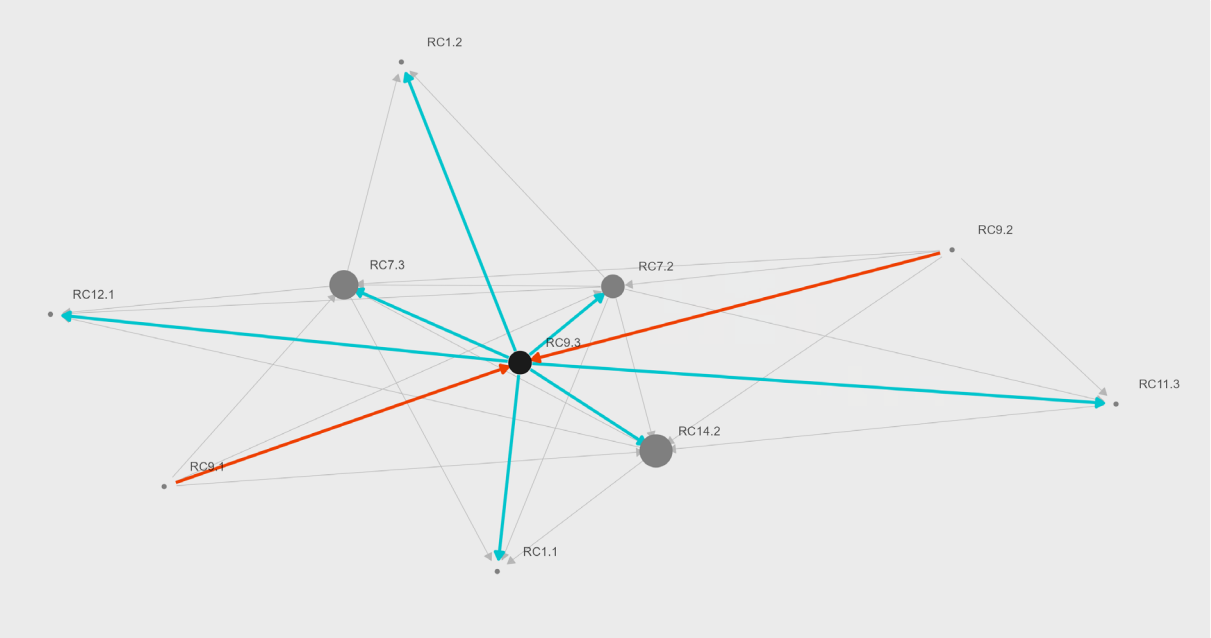


Figura 8. Grafo del Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

El Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos (**Figura 6**) tiene un grado bajo de interconexión con otros riesgos clave:

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido únicamente por riesgos del ámbito sectorial de *Agua y recursos hídricos (RC2)*;

- En cuanto a su grado de salida, pese a ser bajo también, actúa como nodo de generador de impactos en cascada sobre un mayor número de riesgos correspondientes a sectores como el propio de *Energía (RC9), Industria y servicios (RC11), Sistema financiero y actividad aseguradora (RC13)* o *Paz, seguridad y cohesión social (RC14)*, destacando especialmente los dos riesgos pertenecientes al sector *Ciudad, urbanismo y edificación (RC7)*.

El Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica (**Figura 7**) tiene también un grado bajo de interconexión con otros riesgos clave:

- Respecto a su grado entrada, este riesgo solo se ve influido por un único riesgo perteneciente al ámbito sectorial de *Ciudad, urbanismo y edificación (RC7)*;

- Sobre su grado de salida, aunque también bajo, presenta una mayor relevancia en cuanto a la capacidad para generar impactos en cascada en otros sectores, destacando nuevamente *Ciudad, urbanismo y edificación* (RC7) y, en menor medida, *Energía* (RC9), *Industria y servicios* (RC11) y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14).

Finalmente, el *Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas* (Figura 8) presenta también un limitado grado de interconexión con otros riesgos clave:

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido únicamente por dos riesgos, aunque ambos pertenecientes al sector Ciudad, urbanismo y edificación (RC7);

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa principalmente como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como Salud humana (RC1) y *Ciudad, urbanismo y edificación* (RC7), así como de *Industria y servicios* (RC11), *Turismo* (RC12) y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14), aunque de manera menos relevante.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial de Energía.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC9.1 Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Media ▬
RC9.2 Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Media ▬
RC9.3 Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Media ▬

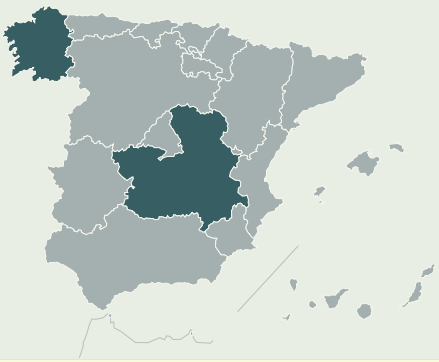
6. Caso de estudio

El caso de estudio **"Evaluación de los efectos de los escenarios hidrológicos proyectados para el siglo XXI sobre la generación hidroeléctrica"** ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de Energía. Los casos de estudio sectoriales permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Evaluación de los efectos de los escenarios hidrológicos proyectados para el siglo XXI sobre la generación hidroeléctrica

Objeto

La producción hidroeléctrica, clave para la transición hacia un modelo energético más sostenible, se encuentra vinculada a los recursos hídricos disponibles, siendo por tanto especialmente sensible al cambio climático. Con el objetivo de contribuir a mitigar el riesgo que tiene la producción hidroeléctrica ante el cambio climático, en este proyecto se desarrolló una metodología y una herramienta informática orientada a facilitar a los agentes del sector la realización de análisis y la planificación de sus estrategias de adaptación. Estos desarrollos permiten simplificar la adquisición y procesamiento de la información climática disponible y generar proyecciones de recurso disponible y generación energética a partir de información específica de cada instalación. La metodología y herramienta desarrolladas se aplicaron al análisis de varios casos de estudio proporcionados por Naturgy, que incluyen sistemas hidroeléctricos de muy diferente naturaleza, ubicados en cuencas con climas y proyecciones distintas (Castilla-La Mancha y Galicia).



Ámbito Territorial

- Castilla-La Mancha y Galicia.

Sector(es)/subsector

- Energía.

Entidad(es) del proyecto

- Tecnalia, con la colaboración de Naturgy (proveedor de datos sectoriales) y el apoyo de la Fundación Biodiversidad, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Escala

- Cuenca o instalación/infraestructura.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Descripción

La metodología desarrollada se basó en guías y estándares de instituciones internacionales tales como el IPCC, la Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (IHA), la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) o el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo (EBRD). El estudio incluyó la definición del alcance geográfico y operacional; la recopilación de información sobre caudales históricos y datos sobre las infraestructuras (mediante fuentes públicas y datos no públicos proporcionados por el operador); la generación del modelo hidroenergético que simula la operación de los sistemas hidroeléctricos y su calibración con datos históricos; la adquisición y análisis de las proyecciones de caudales disponibles y la generación de proyecciones de caudal para escenarios futuros ajustadas a los puntos y escenarios de interés; y la aplicación de los caudales futuros al modelo para la evaluación del cambio en la generación hidroeléctrica y en los caudales máximos y mínimos por comparativa del escenario base con los escenarios de futuro (con cambio climático). Para ello, se manejaron diversas fuentes que proporcionaron la información requerida sobre la infraestructura hidroeléctrica (operador de la infraestructura, confederaciones hidrográficas, geoportales del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico); los caudales históricos (operador de la infraestructura, confederaciones hidrográficas, AEMET, CEDEX) y los caudales proyectados (CEDEX, Servicio de Cambio Climático de Copernicus, WRI-Instituto de Recursos Mundiales). El modelo hidroenergético, por su parte, se creó como unión de elementos simples -regidos por ecuaciones habituales en mecánica de fluidos- que, al integrarse y combinarse entre sí, permiten simular cualquier conjunto de centrales o sistema hidroeléctrico complejo.

Aspectos destacables

Ante la complejidad que entrañan este tipo de análisis en términos de recursos, capacidades y conocimientos específicos (hidrológicos y sectoriales), el proyecto permitió, no solo desarrollar herramientas útiles para el sector, sino también aplicarlas a la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático de varios sistemas hidroeléctricos. Entre otras cuestiones, se analizó el papel que la infraestructura hidroeléctrica juega en la actualidad y jugará en el futuro en el control de avenidas y el mantenimiento de caudales ecológicos. En el estudio de los casos piloto, se pudo observar que:

- Existe una amplia incertidumbre en los caudales futuros proyectados por los modelos hidrológicos. Los modelos disponibles ofrecen tendencias muy dispares (en algunos casos, opuestas). En términos generales, la tendencia mayoritaria es de reducción de la disponibilidad de agua en los cauces analizados.
- La gestión realizada en los diferentes embalses considerados suaviza el efecto de los cambios que se dan en los caudales, lo que permite optimizar su aprovechamiento.
- Se trata de infraestructuras clave para el mantenimiento de los caudales ecológicos, con una contribución aún más importante en escenarios de cambio climático.

Estos estudios permiten alimentar la planificación de estrategias de adaptación y la evaluación coste-beneficio que facilite la toma de decisiones estratégicas frente al cambio climático.

Riesgo(s)

- Riesgo para la producción hidroeléctrica ante el cambio climático.
- Efecto del cambio climático sobre el papel que tiene la infraestructura hidroeléctrica en el control de avenidas y la mitigación de los efectos de las sequías en los caudales (prevención de caudales muy bajos y mantenimiento del caudal ecológico).

Enlaces

- https://adaptecca.es/recursos/buscador/evaluacion-de-los-efectos-de-los-escenarios-hidrologicos-proyectados-para-el
- https://fundacion-biodiversidad.es/proyectos_ficha/evaluacion-de-los-efectos-de-los-escenarios-hidrologicos-proyectados-para-el-siglo-xxi-sobre-la-generacion-hidroelectrica/

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

En el presente capítulo se exponen los principales riesgos climáticos del sector de Energía de España y su interrelación con riesgos de otros sectores con el fin de poder orientar la adaptación en su planificación y gestión. Asimismo, se priorizan una serie de riesgos clave con base en la información existente y se realiza una valoración de urgencia que permite identificar aquellos riesgos que requieren de una atención más inmediata en el siguiente ciclo de planificación.

Para conocer la limitación de los resultados de este capítulo es conveniente indicar ciertos condicionantes encontrados a lo largo del proceso, que están principalmente vinculados con la información disponible. A continuación, se describen de forma genérica las fuentes empleadas y se visibilizan los condicionantes encontrados con base en dichas fuentes.

Fuentes empleadas

El diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España, elaborado en el año 2021, es el punto de partida del presente capítulo, el cual analiza y sintetiza los principales impactos del cambio climático para los sectores considerados como prioritarios, tanto en el PNACC-1 como en el PNACC-2 (recursos hídricos, ecosistemas terrestres, agricultura y ganadería, medio marino, costas, áreas urbanas, salud, energía, transporte y turismo) (Sanz & Galán, 2021). Para el sector de la energía, el informe proporciona un listado preliminar de cinco riesgos.

Esta información se ha ampliado y complementado con la revisión de la plataforma AdapteCCa y del PNIEC 2021-2030 (MITECO, 2020a), así como con artículos científicos y otros informes, en su gran mayoría, del ámbito internacional, firmados por instituciones de diversa índole (IDAE, IHOBE[13], Universidad de Comillas, JRC, World Bank, AIE, etc.).

Por otro lado, de cara a abordar el marco metodológico, otra fuente clave para establecer el marco metodológico del trabajo ha sido el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2022a), cuyo enfoque es el pilar central que guía la evaluación de riesgos realizada. Asimismo, para el diseño del marco de evaluación se han empleado otras fuentes relevantes, como la *Guía Técnica para*

[13] Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco

una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada por la UNDRR (UNDRR, 2022), el diagnóstico de riesgos climáticos elaborado para Europa de la EEA (EEA, 2024b) y el enfoque empleado en la evaluación nacional de riesgos de Reino Unido.

Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del sector

De cara a la identificación de los riesgos relevantes, se ha trabajado con una extensa literatura que aborda la vulnerabilidad del sector energético al cambio climático, aunque aún existen muchas brechas en ciertas regiones geográficas y tecnologías. Gran parte de estos estudios realizan una identificación y valoración cualitativa de los impactos climáticos del sector a partir de los impactos pasados y las vulnerabilidades que este muestra (entre otros, EPRI, 2023; Sanz & Galán, 2021; MITECO, 2020a; IHOBE, 2020; IAEA, 2019; World Bank, 2019; Smith, 2013).

En lo que respecta a la cuantificación de los impactos y riesgos, la información está más extendida para determinados peligros (como sequía y altas temperaturas) y actividades (en particular, consumo/demanda de energía y energías renovables tales como la hidroeléctrica y la eólica) y, generalmente, no tiene en cuenta la evolución futura del sector (instalaciones nuevas y/o cambios de ubicación, evolución de las tecnologías, evolución del mercado, etc.). Desde el punto de vista geográfico, la mayor parte de los estudios se centran en el ámbito europeo (tales como (JRC, 2020); (Kan, Reichenberg, & Hedenus, 2021); (JRC, 2018); (Tobin, y otros, 2018), siendo aún limitada la información cuantitativa disponible para el territorio. En este sentido, se ha trabajado con algunos estudios de ámbito regional, local o de instalaciones concretas (tales como (LIFE IP Urban Klima 2050, 2023); (Tecnalia, 2021); (Naturklima, 2021); (IHOBE, 2020), que ofrecen información difícilmente extrapolable, y con otros de alcance nacional (como (Garrido-Perez J. , Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021); (Añel, Fernández-González, Labandeira, López-Otero, & De la Torre, 2017); (ITT Comillas, 2015), aunque aún resultan muy escasos de cara a obtener una caracterización completa del sector en España.

Por otro lado, cabe resaltar la dificultad de comparar e integrar resultados de todas estas fuentes, ya que estos estudios se han elaborado empleando diferentes modelos, escenarios, métodos de proyección, marcos temporales e hipótesis. En lo que se refiere a los escenarios, se han encontrado fundamentalmente dos tipos de escenarios, los del SRES[14] (IPCC, 2018) (sobre todo en estudios anteriores a 2014) y los basados en Trayectorias de Concentración Representativas o RCP[15] (IPCC, 2014) (en estudios posteriores). Aunque aún son minoritarios, en algún caso también

[14] Special Report on Emissions Scenarios (IPCC AR3 y AR4): A1, A2, B1 y B2.

[15] Representative Concentration Pathways (IPCC AR5): RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5.

se ha observado el uso de escenarios basados en niveles de calentamiento (por ejemplo, (Tobin, y otros, 2018)) y de los últimos escenarios planteados por el IPCC, que combinan las denominadas Trayectorias Socioeconómicas Compartidas o SSP[16] (IPCC, 2022) con los RCP.

Por ello, se requiere seguir trabajando en torno al estudio de los impactos y riesgos del cambio climático en el sector para representar adecuadamente toda la cadena de valor, tanto en lo relativo a la actualización la identificación de riesgos, para incorporar nuevos peligros y tecnologías energéticas, como en la mejora de las evaluaciones existentes, tratando de profundizar en la cuantificación de los riesgos en el territorio.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos

Para la priorización de los riesgos relevantes, el AMC elaborado considera los criterios empleados por el (IPCC, 2022a), que hacen referencia al alcance y probabilidad de que se produzcan consecuencias adversas, las características temporales del riesgo, los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. Tal y como se refleja previamente, a pesar de que se dispone de una extensa literatura que analiza la vulnerabilidad del sector, existe mucha diversidad metodológica e importantes brechas de información en ciertas regiones geográficas y tecnologías. Asimismo, es muy escasa la información sobre umbrales estandarizados que caractericen el nivel de riesgo y sobre el impacto económico asociado.

Estas restricciones en la disponibilidad de información complican la evaluación objetiva de los criterios, haciendo necesario recurrir en ocasiones al juicio de expertos. Dado que este puede estar sujeto a sesgos personales y limitaciones subjetivas, se ha seguido un riguroso proceso de validación interna, sometiendo las evaluaciones a revisiones por múltiples expertos y reforzando así la fiabilidad y la objetividad de los resultados obtenidos.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

Las limitaciones previamente descritas dificultan asimismo la caracterización de riesgos clave. Los vacíos de información existentes complican la descripción o caracterización de los riesgos clave, particularmente a la hora de valorar su impacto económico y de describir aspectos como la severidad del impacto para diferentes niveles de calentamiento, los umbrales críticos del riesgo y cuestiones transversales, tales como los efectos transfronterizos y la perspectiva de género. Es por ello que las fichas recopilan la mejor información disponible hasta la fecha, información que

[16] Shared Socio-economic Pathways (IPCC AR6): SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 y SSP5.

evolucionará según se vaya generando nuevo conocimiento, permitiendo mejorar la comprensión de estas cuestiones.

A pesar de todo ello, ha sido posible recopilar información útil, no solo para los investigadores y el sector público, sino también para los expertos sectoriales que trabajan para incorporar los impactos climáticos en los procesos de toma de decisión del sector energético.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Los estudios analizados evalúan, de manera independiente, el impacto de uno o varios peligros climáticos sobre determinadas infraestructuras o actividades del sector. No se han encontrado estudios que tengan en cuenta riesgos compuestos y ofrezcan una visión de conjunto de los riesgos e impactos del sector desde una perspectiva de cadena de valor, dificultando reflejar la realidad del sector. Asimismo, se observa la necesidad de seguir profundizando en la relación entre distintos sectores que permita extraer conclusiones útiles para el desarrollo de políticas públicas y estrategias de inversión privada, redundando todo ello en la implementación de estrategias de adaptación más integradas y efectivas.

Otras limitaciones

Finalmente, se considera importante resaltar que parte de la información requerida para este análisis está restringida, ya que se encuentra en manos privadas o disponible solo a través de canales sin acceso abierto. Con el objetivo de basar este estudio en información que sea accesible, trazable y transparente, algunos de estos estudios no se han incluido y/o referenciado. Aunque esta decisión podría alterar el nivel de calidad de los datos y de consenso científico, no se considera que los resultados se vayan a ver alterados de manera significativa.

8. Referencias

- ADB. (2012). *Climate Risk and Adaptation in the Electric Power Sector.* Obtenido de https://www.adb.org/publications/climate-risk-and-adaptation-electric-power-sector
- ADB. (2013). *Guidelines for Climate Proofing Investment in the Energy Sector.* Philippines: Asian Development Bank.
- Adil, L., Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2025). *Climate Risk Index 2025.* Germanwatch. Obtenido de https://www.germanwatch.org/sites/default/files/2025-02/Climate%20Risk%20Index%202025.pdf
- AEMET. (2017). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5.*
- AICE-Asociación de la Industria del Combustible de España. (2025). Obtenido de https://www.aiceasociacion.es/
- Altekio. (2024). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030). Seminario de Grupos en situación de vulnerabilidad social. Informe de síntesis.* MITECO.
- Ambientum. (2024). *Energías renovables en España: Evolución, hitos y perspectivas.* Obtenido de https://www.ambientum.com/ambientum/energias-renovables-en-espana-evolucion-hitos-y-perspectivas.asp
- Angeon, V. B. (2015). Reviewing Composite Vulnerability and Resilience Indexes: A Sustainable Approach and Application. *World Development 72*, 140–162. doi:https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.02.011
- Añel, J., Fernández-González, M., Labandeira, X., López-Otero, X., & De la Torre, L. (2017). Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere*. Obtenido de https://doi.org/10.3390/atmos8110209
- Awaworyi Churchill, S., Smyth, R., & Trinh, T.-A. (2022). Energy poverty, temperature and climate change. *Energy Economics*. doi:https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106306
- Betts, R. B. (2021). *The Third UK ClimateChange Risk Assessment Technical Report.*
- Carvalho, D., Pereira, S., & Rocha, A. (2021). Future surface temperature changes for the Iberian Peninsula according to EURO-CORDEX climate projections. *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-020-05472-3
- CEDEX. (2017). *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España.* Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. Obtenido de https://ceh.cedex.es/web/documentos/CAMREC/2017_07_424150001_Evaluaci%C3%B3n_cambio_clim%C3%A1tico_recu.pdf
- CIGRE. (2014). *Guide for thermal rating calculations of overhead lines.* Obtenido de https://www.e-cigre.org/publications/detail/601-guide-for-thermal-rating-calculations-of-overhead-lines.html
- CMCC. (2021). *G20 CLIMATE RISK ATLAS - Impacts, policy, economics - European Union.* Obtenido de https://files.cmcc.it/g20climaterisks/Eu27.pdf

- CNMC. (2024). *Consulta pública específica para la revisión de la Metodología de cálculo de la retribución de la actividad de distribución de energía eléctrica para el periodo regulatorio 2026-2031.* Norma. Obtenido de https://www.cnmc.es/sites/default/files/editor_contenidos/Energia/Consulta%20Publica/1_CIR_DE_006_24_Consulta%20p%C3%BAblica%20espec%C3%ADfica%20METODOLOG%C3%8DA%20DISTRIBUCI%C3%93N.pdf
- de Aragón, E. (2023). *Informe de la AIE sobre redes eléctricas: se necesita modernizar y ampliar 80 millones de km de redes.* Obtenido de Energy News: https://www.energynews.es/informe-aie-redes-electricas/
- Deloitte. (2022). *La contribución del sector energético español a los nuevos objetivos europeos.* Obtenido de https://www2.deloitte.com/es/es/blog/sostenibilidad-deloitte/2021/la-contribucion-del-sector-energetico-espanol-a-los-nuevos-objetivos-europeos.html
- Diario mx. (30 de julio de 2024). Buscan blindar red eléctrica contra tormentas y el calor. *El Diario mx*. Obtenido de https://diario.mx/economia/2024/jul/30/buscan-blindar-red-electrica-contra-tormentas-y-el-calor-1024015.html
- Dobetter. (mayo de 2025). ¿Estamos preparados para el próximo apagón en España? Obtenido de https://dobetter.esade.edu/es/proximo-apagon-espana
- Dumas, M., Kc, B., & Cunliff, C. (2019). *Extreme Weather and Climate Vulnerabilities of the Electric Grid: A Summary of Environmental Sensitivity Quantification Methods.* Tennessee: Oak Ridge National Laboratory.
- EA Technology. (2018). *Improved Statistical Ratings For Distribution Overhead Lines (Phase 2) Final Report.* Obtenido de https://www.nationalgrid.co.uk/downloads-view-reciteme/29896
- Economics for Energy. (2017). *Escenarios para el sector energético en España 2030 - 2050.* Vigo: Economics for Energy. Obtenido de https://eforenergy.org/docpublicaciones/informes/informe_2017.pdf
- EEA. (2019). *Adaptation challenges and opportunities for the European energy system: building a climate resilient low carbon energy system.* Luxembourg: Publications Office. Obtenido de https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-in-energy-system
- EEA. (2024). *Cooling Degree Days.* European Environment Agency.
- EEA. (2024a). *European Climate Risk Assessment.* Denmark: European Environment Agency. Obtenido de https://www.eea.europa.eu/publications/european-climate-risk-assessment
- Eklund, G. S. (2023). Towards a European wide vulnerability framework: a flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. (L. Publications Office, Ed.).
- El periódico de la energía. (2024). *Enagás confirma que el suministro en zonas golpeadas por la DANA no está afectado.* Obtenido de El periódico de la energía: https://elperiodicodelaenergia.com/enagas-confirma-que-el-suministro-en-zonas-golpeadas-por-la-dana-no-esta-afectado/
- El periódico de la energía. (2024a). *La DANA provoca pequeñas afectaciones en el suministro de gas en la Comunidad Valenciana.* Obtenido de El periódico de la energía: https://elperiodicodelaenergia.com/la-dana-provoca-pequenas-afectaciones-en-el-suministro-de-gas-en-la-comunidad-valenciana
- Energía y sociedad. (31 de mayo de 2023). *Las redes eléctricas y su efecto vertebrador en la transición energética.* Obtenido de Energía y sociedad: https://www.energiaysociedad.es/wp-content/uploads/2023/05/217-Redes-electricas-1.pdf

- Energía y sociedad. (2024). *Papel de las redes eléctricas en la transición energética, industrial y digital.* Obtenido de Energía y Sociedad: https://www.energiaysociedad.es/papel-de-las-redes-electricas-en-la-transicion-energetica-industrial-y-digital/
- EPRI. (2023). *Climate Vulnerability Considerations for the Power Sector: Non-Nuclear Generation Assets*. Obtenido de https://www.epri.com/research/sectors/readi/research-results/3002026314
- EPRI. (2023a). *Climate vulnerability considerations for the power sector: nuclear generation assets*. Obtenido de https://www.epri.com/research/sectors/readi/research-results/3002026313
- Escribano, G., Fontoura Gouveia, A., Fachada, J., & Urbasos Arbeloa, I. (Julio de 2025). After the energy crisis: Policy responses in the Iberian Peninsula.
- Esteller, R. (2024). *Así se recuperó el suministro eléctrico en la peor DANA del siglo en 72 horas*. Obtenido de El Economista: https://www.eleconomista.es/energia/noticias/13091440/11/24/asi-se-recupero-el-suministro-electrico-en-la-peor-dana-del-siglo-en-72-horas.html
- Eurelectric. (2024). *EU Electrification rates are not on track for 2050: time for an Electrification Action plan*. Obtenido de https://www.eurelectric.org/in-detail/electrificationactionplan/
- Eurelectric. (2025). *Strengthening climate resilience - Strategies for enhancing DSO resilience against climate change*. Obtenido de https://www.eurelectric.org/wp-content/uploads/2025/07/Strengthening-climate-resilience-Strategies-for-enhancing-DSO-resilience-against-climate-change.pdf
- EY. (2024). *Grids for Speed.* Obtenido de EY Building a Better Working World: https://powersummit2024.eurelectric.org/wp-content/uploads/2024/07/Grids-for-Speed_Report_FINAL_Clean.pdf
- Fant, C., Boehlert, B., Strzepek , K., Larsen, P., White, A., Gulati, S., . . . Martinich, J. (2020). Climate change impacts and costs to U.S. electricity transmission and distribution infrastructure. *Energy*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220300062?viewFullText=true
- Figueira, A. (2022). *Vulnerabilidad de la red eléctrica ante el cambio climático.* Madrid. Obtenido de https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/61761/1/TFM%20-%20Acea%20Figueira%2C%20Alejandra.pdf
- Folch, R., Palau Garrabou, J. M., & Moreso Ventura, A. (2012). *El transporte eléctrico y su impacto ambiental. Reflexiones y propuestas para la mejora de la evaluación ambiental.* Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental. Madrid: Asociación Española de Evaluación de Impacto Ambiental, ERF - Estudi Ramon Folch i Associats S.L. Obtenido de https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/el_transporte_electrico_y_su_impacto_ambiental.pdf
- Funcas. (2022). La nueva geopolítica de la energía. *Funcas*. Obtenido de https://www.funcas.es/articulos/la-nueva-geopolitica-de-la-energia/
- Garrido-Perez, J. M., Barriopedro, D., García-Herrera, R., & Ordóñez, C. (2021). Impact of climate change on Spanish electricity demand. Obtenido de https://digital.csic.es/bitstream/10261/342336/1/841045.pdf
- Garrido-Perez, J., Barriopedro, D., García-Herrera, R., & Ordóñez, C. (2021). Impact of climate change on Spanish electricity demand. *Climatic Change*. doi:https://doi.org/10.1007/s10584-021-03086-0
- Gerlak, A. K., Weston, J., McMahan, B., Murray, R. L., & Mills-Novoa, M. (2018). Climate risk management and the electricity sector. *Climate Risk Management*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212096317301572

- Gomila, D., Carreras, B., & Colet, P. (2022). ¿Aumentan las renovables el riesgo de apagones en la red eléctrica? *The Conversation*. Obtenido de https://theconversation.com/aumentan-las-renovables-el-riesgo-de-apagones-en-la-red-electrica-179729
- IAEA. (2019). *Adapting the Energy Sector to Climate Change.* Vienna: International Atomic Energy Agency. Obtenido de https://www.iaea.org/publications/12338/adapting-the-energy-sector-to-climate-change
- Iberdrola. (2025). *Iberdrola España invierte 100 millones de euros en el rediseño de su red eléctrica afectada en Valencia.* Obtenido de Iberdrola: https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-invierte-100-millones-de-euros-en-el-rediseno-de-la-red-electrica-afectada-por-la-dana
- IDAE. (2011). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España.* PROYECTO SECH-SPAHOUSEC, Secretaría General. Departamento de Planificación y Estudios. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf
- IDAE. (2019). *SPAHOUSEC II: Análisis estadístico del consumo de gas natural en las viviendas principales con calefacción individual.* Departamento de Planificación y Estudios. Madrid: IDAE. Obtenido de https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/estudio_spahousec-ii_270619.pdf
- IDAE. (2022). *Guía práctica para la gestión de ayudas a la rehabilitación energética de edificios.* Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. Obtenido de https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/ayudas_y_financiacion/guia-practica-para-la-gestion-de-ayudas-a-la-rehabilitacion-energetica-de-edificios-edicion-revisada-y-actualizada-a-pree5000.pdf
- Idealista. (4 de julio de 2024). *El 41 % del parque de viviendas en España tiene aire acondicionado.* Obtenido de Idealista: https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2024/07/04/818081-el-41-del-parque-de-viviendas-en-espana-tiene-aire-acondicionado
- IEA. (2023). *Keeping cool in a hotter world is using more energy, making efficiency more important than ever.* Obtenido de IEA: https://www.iea.org/commentaries/keeping-cool-in-a-hotter-world-is-using-more-energy-making-efficiency-more-important-than-ever
- IEA. (2023a). *Electricity Grids and Secure Energy Transitions.* Obtenido de https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions
- IEA. (2024). *Global electricity demand set to rise strongly this year and next, reflecting its expanding role in energy systems around the world.* Obtenido de IEA: https://www.iea.org/news/global-electricity-demand-set-to-rise-strongly-this-year-and-next-reflecting-its-expanding-role-in-energy-systems-around-the-world
- IEA. (2024a). *Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer.* Obtenido de https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer
- IEA. (2024b). *COP28 Tripling Renewable Capacity Pledge.* Obtenido de https://www.iea.org/reports/cop28-tripling-renewable-capacity-pledge
- IHOBE. (2020). *Resiliencia climática del sector de la energía en el País Vasco.* Bilbao: Ihobe. Obtenido de https://www.ihobe.eus/publicaciones/coleccion-klimatek-resiliencia-climatica-sector-energia-en-pais-vasco-2

- INE. (2023). *Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) - Módulo sobre condiciones de la vivienda y eficiencia energética*. Obtenido de https://www.ine.es/dyngs/Prensa/m1ECV2023.htm
- Institute and Faculty of Actuaries. (2025). *Planetary Solvency–finding our balance with nature. Global risk management for human prosperity.* Obtenido de https://actuaries.org.uk/document-library/thought-leadership/thought-leadership-campaigns/climate-papers/planetary-solvency-finding-our-balance-with-nature/
- IPCC. (2011). *Renevable Energy Sources and Climate Change Mitigation.* Cambridge University Press. Obtenido de www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation
- IPCC. (2014). *AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014*. IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/
- IPCC. (2018). *Special Report on Emissions Scenarios*. IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sres-en.pdf
- IPCC. (2022). *AR6: Climate Change 2022*. Obtenido de https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/
- IPCC. (2022a). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. IPCC Sixth Assessment Report, IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-6/
- IPCC. (2022b). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.* Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/
- IRENA. (2021). *Bracing for Climate Impact: Renewables as Climate Change Adaptation Strategy.* Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA_Bracing_for_climate_impact_2021.pdf
- IRENA. (2023). *Water for hydrogen production.* Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Obtenido de https://www.irena.org/Publications/2023/Dec/Water-for-hydrogen-production
- IRENA. (2023a). *The changing role of hydropower: Challenges and opportunities*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Obtenido de https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/The-changing-role-of-hydropower-Challenges-and-opportunities
- ITT Comillas. (2015). *Informe de Adaptación al Cambio Climático del Sector Energético Español. Análisis de la influencia del cambio climático en la oferta y la demanda de energía.* Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informeadaptacionalccdelsectorenergeticoespanol-2015_tcm30-485922.pdf
- JRC. (2018). *PESETA III.* Obtenido de https://joint-research-centre.ec.europa.eu/peseta-projects/peseta-iii_en
- JRC. (2020). *PESETA IV.* Obtenido de https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-activities-z/peseta-climate-change-projects/jrc-peseta-iv_en
- JRC. (2023). *European Drought Risk Atlas.* Luxembourg: Publications Office of the European Union. Obtenido de https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135215
- Kan, X., Reichenberg, L., & Hedenus, F. (2021). The impacts of the electricity demand pattern on electricity system cost and the electricity supply mix: A comprehensive modeling analysis for Europe. *Energy*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221015772

- LBNL. (2011). *Estimating risk to California energy infrastructure from projected climate change.* Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL). Obtenido de https://www.osti.gov/servlets/purl/1026811
- (2023). *LIFE IP Urban Klima 2050.* Obtenido de https://www.urbanklima2050.eu/es/
- Linares, P., & Rey, L. (2013). The costs of electricity interruptions in Spain. Are we sending the right signals? *Energy Policy*, 751-760. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421513004382
- MAPA. (2021). *Superficie de regadío en España 2020.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Obtenido de https://www.mapa.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/la-superficie-de-riego-eficiente-en-espa%C3%B1a-se-sit%C3%BAa-en-2.943.088-hect%C3%A1reas-un-77--de-la-superficie-total-de-riego-/tcm:30-562658
- Martikainen, A., Pykälä, M., & J., F. (2007). *Recognizing climate change in electricity network design and construction.* VTT Research. Obtenido de http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2419.pdf
- Micheli, L., Almonacid, F., Bessa, J., Fernández-Solas, A., & Fernández, E. (2024). The impact of extreme dust storms on the national photovoltaic energy supply. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. doi:https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103607
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Estadística anual de consumo energético residencial 2022.* Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Estadisticas/residencial/Estad%C3%ADstica%20Anual%20Consumo%20Energ%C3%A9tico%20Residencial%202022.pdf
- MITECO. (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático.* Ministerio de Medio Ambiente. Ministerio de Medio Ambiente. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/evaluacion_preliminar_impactos_2005_tcm30-178491.pdf
- MITECO. (2020). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/plan-adaptacion-cambio-climatico-2021-2030.html
- MITECO. (2020a). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.* Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf
- MITECO. (2020b). *Estrategia nacional contra la pobreza energética 2019-2024.* Ministerio para la Transición Ecológica. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/prensa/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica2019-2024_tcm30-496282.pdf
- MITECO. (2022). *La energía en España 2020.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/balances/Balances/LibrosEnergia/Libro_Energia_Espana_2020.pdf
- MITECO. (2022a). *Actualización de indicadores de la estrategia nacional contra la pobreza energética.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-pobreza-energetica/actualizaciondelosindicadoresdelaestrategianacionalcontralapobrezaenergetica-2022_tcm30-549718.pdf

- MITECO. (2023). *Balances energéticos*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/energia/estrategia-normativa/balances/balances.html
- MITECO. (2024). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima. Actualización 2023-2030*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/pniec-2023-2030/PNIEC_2024_240924.pdf
- MITECO. (2024a). *Informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España*. Obtenido de https://adaptecca.es/sites/default/files/2025-03/INFORME%20CLIVAR_clima%20en%20Espana_1.pdf
- MITECO. (2025). El MITECO inicia la tramitación del Plan Social para el Clima. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2025/febrero/el-miteco-inicia-la-tramitacion-del-plan-social-para-el-clima.html
- MITECO. (2025a). *Sara Aagesen anuncia las líneas generales de la Propuesta de planificación eléctrica a 2030*.
- MITECO. (s.f.). *AdapteCCA - Energía*. Obtenido de https://adaptecca.es/sectores-y-areas/Energia
- Mosquera, P. (25 de febrero de 2024). Hidroeléctrica, una tecnología esencial para la transición energética. *Energías renovables*. Obtenido de https://www.energias-renovables.com/hidraulica/hidroelectrica-una-tecnologia-esencial-para-la-20240214
- Naturklima. (2021). *Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa*.
- Novo, C. (2023). Sequía en España: un desafío para la sostenibilidad hídrica. *IAGUA*. Obtenido de IAGUA: https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/sequia-espana-desafio-sostenibilidad-hidrica
- Orkestra. (2023). *Pobreza energética en mujeres: factores de vulnerabilidad, pandemia y crisis energética*. (Orkestra, Editor) Obtenido de Orkestra: https://www.orkestra.deusto.es/es/actualidad/noticias-eventos/beyondcompetitiveness/2534-pobreza-energetica-mujeres-factores-vulnerabilidad
- ORM. (5 de abril de 2019). El Gobierno prohíbe los cortes de suministro eléctrico en olas de frío o de calor. *Onda Regional de Murcia*. Obtenido de https://www.orm.es/informativos/noticias-2019/el-gobierno-prohibe-el-corte-del-suministro-electrico-en-olas-de-frio-o-de-calor/
- Parlamento Europeo. (2023). *Día Internacional de la Mujer - Perspectiva de género en la pobreza energética*. Obtenido de Parlamento Europeo: https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230224STO76403/dia-internacional-de-la-mujer-perspectiva-de-genero-en-la-pobreza-energetica
- Pérez, J. R. (2023). La necesidad de utilizar el aire acondicionado en España es 2,6 veces superior que hace cuatro décadas. *Newtral*. Obtenido de https://www.newtral.es/necesidad-refrigeracion-espana/20230831/
- Rademaekers, K., & Van der Laan, J. (2011). *Investment needs for future adaptation measures in EU nuclear power plants and other electricity generation technologies due to effects of climate change*. European Commission. Obtenido de European Comission. Energy.: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/2011_03_eur24769-en.pdf
- REE. (2022). *Plan de desarrollo de la Red de Transporte de Energía Eléctrica. Período 2021-2026*. Obtenido de https://www.planificacionelectrica.es/planificacion-vigente

- REE. (2023). *Serie histórica de potencia instalada.* REE. Obtenido de https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada
- REE. (2024). *Disponibilidad de la red de transporte*. Obtenido de Red eléctrica: https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/transporte/disponibilidad-de-la-red-de-transporte
- REE. (2024a). *Intalaciones de la red de transporte*. Obtenido de Red eléctrica: https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/transporte/instalaciones-de-la-red-de-transporte
- REE. (2024b). *Generación total de energía eléctrica*. Obtenido de Red eléctrica: https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/generacion/generacion-de-energia-electrica/generacion-total-de-energia-electrica
- REE. (2024c). *Informe del Sistema Eléctrico. Informe resumen de energías renovables 2023.* Obtenido de https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2024-03/Informe_Renovables_2023.pdf
- REE. (2024d). *Energía del agua 2024. Generación*. Obtenido de Red eléctrica: https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-de-energias-renovables/agua/generacion-agua
- REE. (2024e). *Red Eléctrica monitors weather parameters in real time to maximise line usage and integrate more renewables*. Obtenido de Red Eléctrica: https://www.ree.es/en/press-office/news/press-release/2024/07/red-electrica-monitors-weather-parameters-real-time-maximise-line-usage-integrate-more-renewables
- REE. (2025). *Serie histórica de potencia instalada.* REE. Obtenido de https://www.ree.es/es/datos/generacion/potencia-instalada
- REE. (2025a). *Interconexiones*. Obtenido de https://www.ree.es/es/transicion-ecologica/interconexiones
- REE. (2025b). *Mapa de instalaciones hidráulicas nacionales*. Obtenido de Red eléctrica: https://www.esios.ree.es/es/mapas-de-interes/mapa-instalaciones-hidraulicas
- REE. (2025c). *Red Eléctrica presenta su informe del incidente del 28 de abril y propone recomendaciones.* Obtenido de Red eléctrica: https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2025/06/red-electrica-presenta-su-informe-del-incidente-del-28-de-abril-y-propone-recomendaciones
- Reisinger, A. H.-O. (2020). The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. (I. P. Change, Ed.).
- Sánchez-Guevara Sánchez, C., Gayoso Heredia, M., Núñez Peiró, M., Sanz Fernández, A., Neila González, F., Alesanco Sanz, P., . . . Gómez Muñoz, G. (2020). *Feminización de la pobreza energética en Madrid. Exposición a extremos térmicos.* Obtenido de https://oa.upm.es/66337/
- Sanz, M., & Galán, E. (2021). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Oficina Española de Cambio Climático, Madrid. Obtenido de https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/impactosyriesgosccespanawebfinal_tcm30-518210_0.pdf
- Satorras, M., Borràs, M., Serrano, T., & Domene, E. (2023). *Percepcions i estratègies d'adaptació a la calor extrema de les llars vulnerables metropolitanes.* Institut Metròpoli, Bellaterra. Obtenido de https://www.institutmetropoli.cat/wp-content/uploads/2024/08/IM_Informe-Calor_Complet_Web.pdf

- Scheypen, J., Dasgupta, S., Borsky, S., Jury, M., Ščasný, M., & Bezhanishvili, L. (2022). *Impacts on Industry, Energy, Services, and Trade. Deliverable of the H2020 COACCH project.* Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC).
- Science Media Centre España. (15 de Noviembre de 2024). *Cambio climático y DANAS más destructivas: ¿estamos preparados?* Obtenido de https://sciencemediacentre.es/cambio-climatico-y-danas-mas-destructivas-estamos-preparados
- Scoccimarro, E., Cattaneo, O., Gualdi, S., Mattion, F., Bizeul, A., Martin Risquez, A., & Quadrelli, R. (2023). Country-level energy demand for cooling has increased over the past two decades. *Communications Earth & Environment*. doi:https://doi.org/10.1038/s43247-023-00878-3
- SEDIGAS-Asociación Española del Gas. (2025). Obtenido de https://www.sedigas.es/
- Smith, M. H. (2013). *Assessing Climate Change Risks and Opportunities for Investors: Oil and Gas Sector.* ANU and Investor Group on Climate Change. doi: 10.13140/RG.2.1.3589.2721
- Solaun, K., & Cerdá, E. (2019). Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119306239?via%3Dihub
- Statista. (2025). *Dependencia de las importaciones de energía de España de 2006 a 2022*. Obtenido de https://es.statista.com/estadisticas/493962/dependencia-de-las-importaciones-de-energia-de-espana/
- TCFD. (2020). *Guidance on Riks Management Integration and Disclosure.* Task Force on Climate-related Financial Disclosures.
- Tecnalia. (2021). *Evaluación de los efectos de los escenarios hidrológicos proyectados para el siglo XXI sobre la generación hidroeléctrica.* Obtenido de https://adaptecca.es/recursos/buscador/evaluacion-de-los-efectos-de-los-escenarios-hidrologicos-proyectados-para-el
- Tobin, I., Greuell, W., Jerez, S., Ludwig, F., Vautard, R., van Vliet, M., & Bréon, F.-M. (2018). Vulnerabilities and resilience of European power generation to 1.5 °C, 2 °C and 3 °C warming. *Environmental Research Letters*. doi:10.1088/1748-9326/aab211
- Torriti, J. (2017). The Risk of Residential Peak Electricity Demand: A Comparison of Five European Countries. *Energies*. doi:https://doi.org/10.3390/en10030385
- Torvisco, P. (2025). *Cero eléctrico: todo lo que querías saber sobre el apagón.* Obtenido de Corporación de Radio y Televisión Española: https://www.rtve.es/noticias/20250709/cero-electrico-todo-querias-saber-sobre-apagon/16657677.shtml
- Troccoli, A. (2018). *Weather & Climate Services for the Energy Industry.* doi:10.1007/978-3-319-68418-5
- Turner, S. W., Ng, J. Y., & Galelli, S. (2017). Examining global electricity supply vulnerability to climate change using a high-fidelity hydropower dam model. *Science of The Total Environment*, 663-675. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.022.
- UNDRR. (2022). Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change. (U. N. Reduction, Ed.).

- Ürge-Vorsatz, D., & Tirado Herrero, S. (2012). Building synergies between climate change mitigation and energy poverty alleviation. *Energy Policy*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421511009918
- US DOE. (2011). *Estimating risk to California energy infrastructure from projected climate change*. Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL). Obtenido de https://www.osti.gov/servlets/purl/1026811
- US DOE. (2015). *Climate Change and the U.S. Energy Sector: Regional Vulnerabilities and Resilience Solutions*. Obtenido de https://toolkit.climate.gov/sites/default/files/Regional_Climate_Vulnerabilities_and_Resilience_Solutions_0.pdf
- Valor, E., Meneu, V., & Caselles, V. (2001). Daly Air Temperature and Electricity Load in Spain. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 1413–1421. doi: https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<1413:DATAEL>2.0.CO;2
- Ware, J., & Pearce, O. (2024). *Counting the Cost 2024. A year of climate breakdown*. Obtenido de https://www.christianaid.org.uk/sites/default/files/2024-12/counting-the-cost-2024.pdf
- World Bank. (2011). *Climate impacts on energy systems : key issues for energy sector adaptation*. World Bank Group, Washington, D.C. Obtenido de https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/580481468331850839/climate-impacts-on-energy-systems-key-issues-for-energy-sector-adaptation
- World Bank. (2012). *Bajemos la temperatura : por qué se debe evitar un planeta 4º C más cálido*. Obtenido de https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/2cf3c588-748b-56a6-9a2a-f3141b879d53
- World Bank. (2019). *Stronger Power: Improving Power Sector Resilience to Natural Hazards*. World Bank Group, Washington, DC. Obtenido de https://documents1.worldbank.org/curated/en/200771560790885170/pdf/Stronger-Power-Improving-Power-Sector-Resilience-to-Natural-Hazards.pdf
- World Economic Forum. (2025). *The Global Risks Report 2025*. Obtenido de https://reports.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2025.pdf
- World Energy Council. (2025). *World Energy Trilemma Report 2024*. Obtenido de https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-report-2024?send-resource=yes
- World Meteorological Organization. (2022). *El cambio climático pone en riesgo la seguridad energética*. Obtenido de World Meteorological Organization: https://wmo.int/es/media/el-cambio-climatico-pone-en-riesgo-la-seguridad-energetica
- World Meteorological Organization. (31 de Octubre de 2024). *Devastating rainfall hits Spain in yet another flood-related disaster*. Obtenido de World Meteorological Organization: https://wmo.int/media/news/devastating-rainfall-hits-spain-yet-another-flood-related-disaster

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Movilidad y transporte

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autora: María Ayelén Calvet (Tecnalia)

Contribuyentes: Jorge Paz Jiménez (Tecnalia), María Puig Fuentenebro (Tecnalia)

Agradecimientos: Andrés Monzón de Cáceres (Fundación Agustín de Betancourt), Elena Curto Alonso (Ineco), Marta Gutiérrez González (Ineco), Cristina Oter García (Ineco), Oihana Jauregui Zorzano (Tecnalia), Ana Arcos González (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible).

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Calvet, M.A. (2025). Movilidad y transporte. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 1044

2. Introducción / pág. 1046

3. Riesgos relevantes del sector de la movilidad y el transporte / pág. 1048

4. Riesgos clave del sector de la movilidad y el transporte / pág. 1061

4.1. RC10.1: Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos / pág. 1062

4.2. RC10.2: Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos / pág. 1071

4.3. RC10.3. Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos / pág. 1080

4.4. RC10.4. Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos / pág. 1088

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 1097

6. Caso de estudio / pág. 1102

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 1104

8. Referencias / pág. 1107

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Movilidad y transporte de la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej.alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. **Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

La movilidad y el transporte de nuestro país, conformados por múltiples tipos de transporte, se verán afectados por una multiplicidad de peligros climáticos en el corto, medio y largo plazo. Para 2050, deberán contribuir a una economía baja en carbono y tendrán que incrementar su adaptación al cambio climático y su resiliencia para hacer frente a los riesgos derivados del cambio climático.

El transporte está estrechamente vinculado a múltiples sectores, muchos de los cuales dependen de él para operar. Entre ellos se encuentran la industria, la salud (tanto para el suministro de insumos como para el traslado de pacientes a los centros médicos), el turismo y el sector alimentario (ya sea para el transporte de alimentos o de insumos en la producción agropecuaria). Además, en algunos territorios insulares, ciertos medios de transporte son esenciales para su conectividad. Según Zittis *et al.*, (2023), las Islas Canarias podrían enfrentar un riesgo medio de aislamiento en el Medio plazo. Asimismo, en Ceuta y Melilla, los fuertes temporales de viento han ocasionado en repetidas ocasiones el cierre de sus puertos en las últimas décadas.

Los impactos del cambio climático han tenido efectos importantes en el transporte y representan actualmente una amenaza para éste. A nivel local, el Informe de *Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa* (Naturklima, 2020) recoge afecciones históricas en Gipuzkoa a la circulación viaria por nevadas, heladas, desprendimientos, inundaciones (costeras, fluviales y pluviales) y vientos extremos. En el ámbito global, también se han registrado efectos sobre la circulación internacional de bienes. Por ejemplo, en 2023, la sequía en Panamá afectó a los flujos comerciales y al tráfico portuario en España (Serkan Arslanalp *et al.*, 2023).

Según los escenarios de cambio climático los eventos extremos como vientos fuertes y lluvias torrenciales podrían volverse más frecuentes en el futuro (CEDEX, 2021; UCMG, 2018), generando daños e interrumpiendo el transporte al causar retrasos, cancelaciones y condiciones peligrosas en carreteras, aeropuertos y vías ferroviarias. Dado el papel clave del sector transporte en la conectividad y el funcionamiento de otros sectores, cualquier interrupción o deficiencia en su operación puede desencadenar una serie de impactos en cascada.

Se prevé que el riesgo de deslizamientos de tierras aumente en las regiones europeas expuestas a precipitaciones extremas (EEA, 2024) lo que podría afectar a las vías de comunicación. Además, en España, un análisis sobre el factor de torrencialidad (CEDEX, 2021) indica un incremento de este fenómeno a corto plazo (2011-2040), lo que agravaría tanto las inundaciones fluviales como las pluviales. Según Van Ginkel *et al.* (2021) hasta un 16 % de las carreteras españolas podrían verse

afectadas por inundaciones fluviales. Por otro lado, las temperaturas extremas y las inundaciones tendrán un impacto significativo en las infraestructuras de transporte, así como en las redes energéticas y la industria, siendo los países del sur y sudeste de Europa los más vulnerables. De hecho, se estima que las olas de calor podrían causar hasta el 92 % de los daños en carreteras para la década de 2080, por afecciones al asfalto y otros materiales (Climate-KIC, 2018).

Estos eventos extremos han generado ya pérdidas y daños de gran magnitud. Un ejemplo reciente es la inversión excepcional de 184,6 millones de euros destinada por el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible a la reparación y reconstrucción de las infraestructuras ferroviarias en Valencia afectadas por la dana de octubre de 2024 (La Moncloa, 2024).

Más allá de los casos puntuales, el sector del transporte desempeña un papel clave en la economía nacional, por lo que su afectación podría tener repercusiones económicas aún mayores. En 2021, el PIB del transporte terrestre (carretera, ferrocarril y tubería[3]) representó un 3,9 % del PIB total, mientras que la actividad del sistema portuario estatal aportó cerca del 20 % del PIB del sector del transporte (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenibles, Puertos del Estado, s. f.).

Teniendo en cuenta todo ello, el presente capítulo elabora el diagnóstico de los impactos y riesgos derivados del cambio climático en el sector de la movilidad y el transporte de nuestro país. Para realizarlo se han incluido en este capítulo riesgos relevantes de subsectores (denominados subelementos) específicos: transporte marítimo, transporte por carretera, transporte aéreo y ferroviario.

[3] El PIB del transporte por carretera en España incluye las tuberías (como oleoductos y gasoductos) en las estadísticas oficiales.

3. Riesgos relevantes del sector de la movilidad y el transporte

Los riesgos relevantes para el sector de la movilidad y el transporte son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas en el sector y que pueden llegar a perjudicar la operatividad, la infraestructura, las cadenas de suministro por interrupciones, las comunidades que dependen de él, así como la sostenibilidad de este. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad que caracterizan el sector, y pueden cambiar a lo largo del tiempo y en el espacio como resultado de cambios socioeconómicos y decisiones humanas (Reisinger *et al.*, 2020).

De acuerdo con la literatura científica, el sector se encuentra expuesto a una alta diversidad de **peligros climáticos**, entre los que destacan: el aumento del nivel del mar (URBAN KLIMA, 2050), las inundaciones fluviales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.), las inundaciones pluviales (IHOBE, 2022a), las inundaciones costeras (Verschuur *et al.*, 2023), el incremento de altura de oleaje (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2016), los temporales de viento (UCMG, 2018), los vientos ciclónicos (Verschuur *et al.*, 2023), las fuertes nevadas (Adif, 2018), las lluvias intensas (CEDEX, 2018), las temperaturas elevadas (CEDEX, 2018), las olas de calor (Forzieri *et al.*, 2018) y los incendios (Adif, 2018).

Cabe destacar en este punto que, si bien los diferentes peligros tienen diferentes impactos en función de la ubicación en el territorio, en el caso de las heladas y nevadas, aunque tienen el potencial de producir un impacto sobre el sector, no son tan relevantes puesto que tenderán a reducirse a lo largo del siglo como consecuencia del aumento de las temperaturas (AEMET, 2017; EEA, 2024). Además, los peligros mencionados tienen diferente efecto en función del tipo de transporte que se analice. Es por este motivo que se ha dividido el análisis del sector en cuatro subelementos de exposición, en cada uno de los cuales se identifican los diferentes riesgos que les afectan:

- **Transporte marítimo:** su análisis incluye tanto los riesgos que afectan directamente a las infraestructuras de los puertos, como aquellos que producen impactos sobre los procesos del transporte marítimo, tales como la interrupción o suspensión del tránsito de pasajeros entre las islas y la Península, así como el de mercancías a lo largo de las rutas comerciales y del abastecimiento de las cadenas de suministro.

- **Transporte por carretera:** se describen aquí tanto los riesgos que impactan directamente en las infraestructuras (carreteras, autopistas, puentes, túneles, etc.) como aquellos que interrumpen o paralizan el transporte por carretera, afectando los servicios provistos por el sector, como la cadena de valor (logística) o la circulación de personas y mercancías.

- **Transporte ferroviario:** se incluyen tanto los riesgos que afectan directamente a los componentes de la infraestructura ferroviaria (plataforma, terraplenes, taludes, desmontes, estructuras como puentes, viaductos, túneles, obras de drenaje, etc., vías ferroviarias, línea aérea de contacto, sistemas de comunicación y señalización, estaciones, terminales logísticas) como los que perjudican a los procesos que se ven alterados por las incidencias del transporte ferroviario, como son la circulación de bienes y personas y las cadenas de suministro. Además, se ha incluido un riesgo de incremento de los costes asociados a la refrigeración debido a un aumento de las temperaturas.

- **Transporte aéreo[4]:** el análisis incluye tanto los riesgos que afectan directamente a las infraestructuras, como los que producen afectaciones en la operatividad del servicio y pérdidas económicas, por ejemplo, por la variación de la capacidad del avión y de la longitud de pista para el despegue por aumento de las temperaturas.

La Figura 1 incluida a continuación presenta diferentes dimensiones o planteamientos desde los que es posible abordar la clasificación de las actividades de transporte. Además de su clasificación en función de las tipologías de transporte mencionadas anteriormente (aéreo, ferroviario, viario y marítimo), el sistema de transporte puede segregarse según otros criterios. Por ejemplo, sería posible diferenciar entre las actividades y medios destinados al transporte de pasajeros y los destinados al transporte de mercancías, o en función del ámbito de la movilidad (diferenciando transporte interurbano frente a urbano). No obstante, tras el análisis realizado se ha apreciado que la manera más conveniente para analizar y exponer los riesgos es empleando las 4 tipologías anteriormente comentadas, ya que muchos de los riesgos afectan de manera claramente diferencial a las infraestructuras implicadas (es decir, a los puertos, aeropuertos, carreteras o ferrocarriles) o son relativamente similares para los diferentes medios agrupados en cada categoría (por ejemplo, los riesgos climáticos para diferentes categorías de vehículos de carretera tienen muchos aspectos en común).

Desde una visión global de la movilidad, los desplazamientos peatonales y no motorizados quedan parcialmente fuera de la clasificación empleada, pero los riesgos se asemejan en gran medida a los de "carreteras urbanas" y son abordados en otros sectores (p. ej. Ciudad, urbanismo y edificación). Otro aspecto que la clasificación parece obviar es el fenómeno de la movilidad multimodal, muy

[4] No han sido considerados los efectos del cambio climático en vuelos.

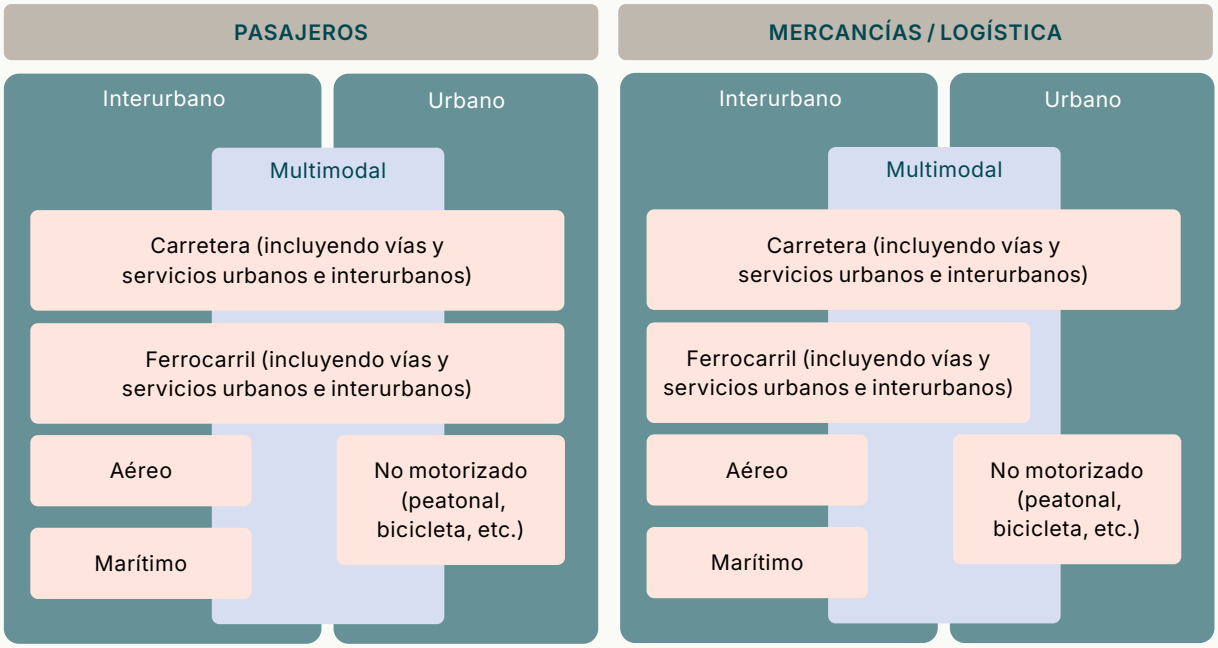


Figura 1. Posibles clasificaciones de la movilidad en España.

importante en áreas metropolitanas. No obstante, el análisis de cada tipología de transporte de manera individualizada sienta las bases para evaluar el impacto sobre el conjunto de la movilidad.

De este modo, **la exposición** del transporte marítimo, ferroviario, por carretera y aéreo está determinada por la ubicación de su infraestructura. Las infraestructuras de transporte por carretera y ferrocarril están distribuidas por todo el territorio. En contraste, el transporte marítimo incluye tanto las zonas costeras como las rutas marítimas, mientras que el transporte aéreo cuenta con instalaciones en localidades específicas.

En cada tipo de transporte, la unidad expuesta corresponde ya sea a la **infraestructura** —entendida como los vehículos, las vías por las que estos circulan (en los casos de transporte ferroviario y por carretera) y las estaciones operativas— o bien a la **operatividad**, es decir, al funcionamiento del servicio. Además, todos los riesgos afectan de manera directa a las comunidades, por lo que éstas también forman parte de la exposición.

En cuanto a su **vulnerabilidad**, si se analiza desde un punto de vista holístico, atendiendo a la aproximación definida por (Eklund *et al.*, 2023), se observa que dicha componente comprende cinco dimensiones:

- La dimensión **físico-tecnológica** se refiere a la susceptibilidad de las infraestructuras a verse afectadas debido a su ubicación, estado físico y/o condiciones de mantenimiento. Factores como la antigüedad de las instalaciones, la frecuencia del mantenimiento y las características del diseño influyen en su vulnerabilidad. Además, aspectos como la predominancia de un tipo de transporte, que genera dependencia (dada la falta de diversificación) en el flujo de mercancías, o la condición insular, que supone la no conectividad terrestre con la Península, también pueden condicionar la vulnerabilidad del transporte frente a un riesgo determinado.

- La segunda dimensión describe la situación **económica** de la actividad y vendría caracterizada por la importancia del sector de Movilidad y transporte en la economía del país, así como también por las diferentes capacidades financieras de determinados actores. El sector tiene una participación alta en el PIB (Observatorio del transporte y la logística en España, 2025) por lo que su afectación por consecuencias del cambio climático podría tener importantes repercusiones económicas. Paralelamente, las limitadas capacidades económicas de los agentes afectados (especialmente en el transporte por carretera, más atomizado y operado por agentes de muy diversa naturaleza y capacidades) podría hacer más difícil afrontar los costes derivados de daños en la infraestructura.

- La siguiente componente, relativa a la vulnerabilidad **social**, explica los factores o condiciones sociales que pueden aumentar los riesgos del sector; por ejemplo, la dependencia de las personas a un determinado tipo de medio de transporte, o a rutas específicas, podría incrementar la demanda y repercutir en la intensidad del riesgo. Los eventos extremos como las olas de calor también afectan a las personas que trabajan en el sector (especialmente en el transporte por carretera) (Sancho, 2024). Asimismo, esta dimensión abarca la relación de dependencia con las infraestructuras de transporte utilizadas en la logística para la respuesta a emergencias. En otras palabras, la respuesta ante emergencias depende en gran medida del transporte, ya que este permite movilizar insumos, evacuar personas y trasladarlas a hospitales o centros de evacuación. Por lo tanto, la interrupción del transporte podría dificultar significativamente la logística asociada a la gestión del desastre.

- La vulnerabilidad **ambiental** representa la cuarta dimensión y se refiere a la existencia de aspectos en el ambiente circundante que puedan implicar la amplificación del riesgo para un peligro en particular. Por ejemplo, en el caso de transportes terrestres, la presencia de vegetación altamente inflamable podría hacer que se propaguen más fácilmente los incendios.

- La dimensión final, relacionada con la **gobernanza**, abarca tanto la habilidad como la iniciativa para implementar estrategias y planes de adaptación destinados a mitigar o prevenir el riesgo climático.

Al mismo tiempo, otros **factores de riesgo subyacentes** agravan la exposición y vulnerabilidad que presenta el sector ante los peligros previamente descritos. De acuerdo con el grupo de trabajo Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), creado por el Consejo de Estabilidad Financiera (FSB), existe una serie de riesgos derivados de la transición que impactan sobre el sector (TCFD, 2020). Los riesgos de transición hacen referencia a las cargas asociadas con la preparación de las sociedades y sus economías para el desafío que supone la transición hacia la descarbonización de las economías y se pueden clasificar en estos subtipos:

- **Riesgos tecnológicos:** se corresponden con los riesgos que pueden derivarse de las mejoras o innovaciones tecnológicas. El despliegue de este tipo de tecnologías puede requerir la actualización y reemplazo de las tecnologías antiguas, generando costes significativos para el sector.

- **Riesgos de mercado:** hacen referencia a los cambios en la oferta y la demanda de determinados servicios a medida que los riesgos climáticos tienen lugar y surgen nuevas oportunidades. Por ejemplo, a medida que los consumidores son más conscientes del cambio climático, buscan otros medios de transporte más sostenibles y, como consecuencia, las empresas que no se adapten a este cambio de tendencia puedan perder ventas frente a otros competidores.

- **Riesgos reputacionales:** están relacionados con la percepción de los usuarios respecto a la contribución de una empresa de transporte a la transición. Esta creciente conciencia por parte de los consumidores puede dar lugar a la pérdida de clientes y al deterioro de la imagen de las empresas de transporte.

- **Riesgos políticos:** están asociados a los cambios en las políticas y regulaciones, así como a cambios en los subsidios o incentivos, que promueven prácticas que contribuyen tanto a la mitigación como a la adaptación climática. Por ejemplo, la regulación de aspectos que fomentan la eficiencia energética puede suponer la necesidad de acometer inversiones, así como plazos para ajustarse a la nueva normativa.

Además, existen otro tipo de riesgos subyacentes derivados de **eventos disruptivos**, también denominados “cisne negro”, que son sucesos completamente imprevistos (p. ej.guerras, pandemias y eventos climáticos inesperados por su magnitud, fuera de las expectativas habi-

tuales, y cuyo impacto tiene una gran repercusión socioeconómica y ambiental). Un ejemplo es la devastación del Parque Natural de L'Albufera como consecuencia de la dana de Valencia provocado (entre otras causas) por la acumulación de los vehículos que fueron arrastrados por las aguas torrenciales (Greenpeace, 2024).

Sin embargo, cabe destacar que en este ámbito sectorial puede haber otros factores de riesgo subyacentes no derivados de la transición, como, por ejemplo, aquellos riesgos derivados de las políticas de ordenación territorial, que podrían no permitir o ralentizar acciones de adaptación en la movilidad y el transporte.

La **Figura 2** representa de forma esquemática todas las componentes previamente descritas: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector ante dichos peligros, las diferentes vulnerabilidades y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector.

Movilidad y transporte

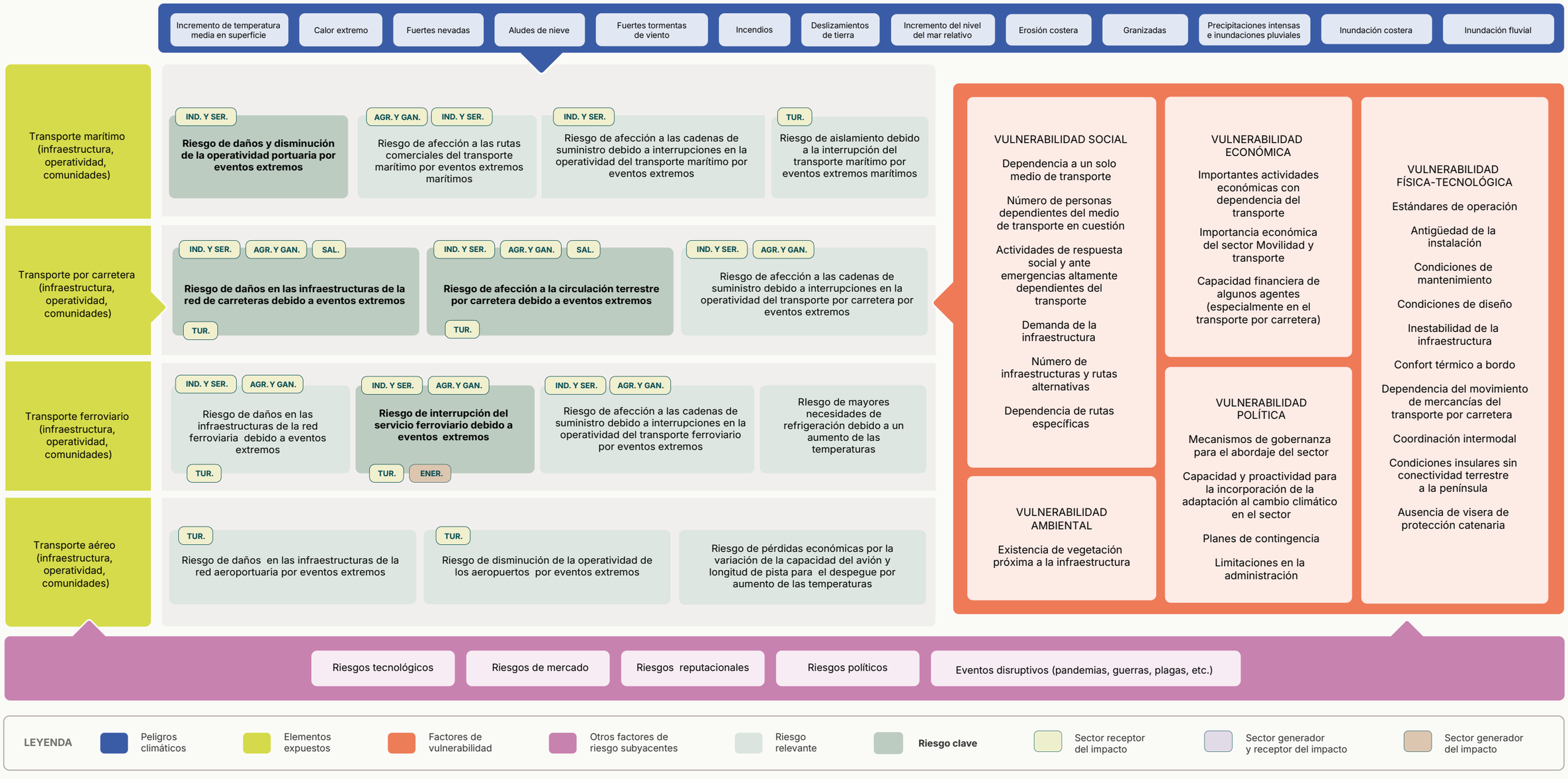


Figura 2. Modelo conceptual elaborado para el sector de la movilidad y el transporte. Fuente: basado en (UNDRR, 2022)

Los riesgos relevantes identificados para el sector se resumen en la Tabla 1 y se describen a continuación:

Riesgos relevantes relativos al transporte marítimo

Dentro de este tipo de transporte, el primer riesgo identificado ha sido mencionado en el informe de *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España (Sanz & Galán, 2020) y en el análisis de Puertos del Estado,* (2016). Se trata del **riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos**, incluyendo entre estos, vientos fuertes, incrementos en la altura de oleajes, tormentas severas, precipitaciones extremas y otros peligros menos frecuentes como niebla densa, corrientes marinas intensas o calor extremo (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2016; Puertos del Estado, 2016; UCMG, 2018). El riesgo incluye la afectación a la integridad física de los puertos con la consecuente interrupción de las operaciones desarrolladas en ellos, así como de las infraestructuras de protección. Más específicamente, se refiere a la posibilidad de que los peligros mencionados generen daños en la infraestructura portuaria (muelles, grúas, almacenes, vías de acceso) y afecten el funcionamiento de las operaciones marítimas. Esto puede traducirse en retrasos, interrupciones en la carga y descarga de mercancías, o incluso el cierre temporal del puerto, impactando el comercio y la logística.

En segundo lugar, ha sido documentado en la bibliografía, por parte de la revista internacional de comercio (International Trade Magazine, 2023), el **riesgo de afección a las rutas comerciales del transporte marítimo por eventos extremos marítimos**, el cual incluye los impactos que representan fenómenos climáticos severos, como huracanes, tormentas o fuertes oleajes, para la seguridad y viabilidad de las rutas marítimas utilizadas en el comercio global. Este riesgo es de suma importancia ya que, por una parte, el 90 % de las importaciones y el 60 % de las exportaciones en España se realizan por vía marítima, y 459 millones de toneladas anuales de mercancías entran y salen por los puertos de España. Por otra parte, existe una relación con la seguridad del suministro energético, ya que existe una dependencia energética del exterior que, con datos de 2022, se sitúa en el 70 %, y prácticamente todo el petróleo y gas natural que recibe nuestro país lo hace por vía marítima (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2024). Los eventos extremos, entonces, pueden causar desvíos, retrasos, interrupciones en la navegación o incluso la suspensión temporal del tráfico marítimo, afectando la eficiencia del transporte de bienes y generando impactos económicos en la cadena de suministro.

El tercer riesgo identificado en el transporte marítimo ha sido el **riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte marítimo por eventos extremos** (United Nations, 2024). Este riesgo se enfoca en un impacto específico de la interrupción del transporte que afecta a la cadena de suministros, lo cual puede generar

desabastecimiento, aumento de costos logísticos y demoras en la producción y distribución de productos, perjudicando tanto a empresas como a consumidores.

Por último, se ha definido por Zittis *et al.* (2023) el **riesgo de aislamiento debido a la interrupción del transporte marítimo por eventos extremos marítimos**, que en el presente estudio se ha identificado como riesgo relevante. Este riesgo es fundamentalmente aplicable a Canarias y Baleares y se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos, como huracanes, tormentas o marejadas impidan la conexión marítima de ciertas regiones o islas con otros territorios. Esta interrupción puede dificultar el abastecimiento de bienes esenciales, limitar la movilidad de personas y restringir el acceso a recursos críticos, afectando la economía, la seguridad y el bienestar de las poblaciones dependientes del transporte marítimo.

Riesgos relevantes relativos al transporte por carretera

El primer riesgo de este tipo de transporte fue identificado por el CEDEX (2018) y es el **riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos**, el cual se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos, como inundaciones costeras, fluviales o pluviales, deslizamientos de tierra, olas de calor, tormentas o incendios, causen deterioro o destrucción de la integridad física de carreteras, puentes y túneles. De hecho, actualmente ya se han visto materializados los impactos de este riesgo: más del 20 % de la red de carreteras de España ha experimentado ya daños por erosión en taludes, deslizamiento de laderas y caída de materiales como consecuencia de lluvias intensas; en torno al 4 % de la red de carreteras ha sufrido daños en los firmes (surcos, aparición de roderas, deformaciones, fisuras, baches, exudación, ablandamiento) como consecuencia de temperaturas elevadas; y más del 7 % de los puentes de la red de carreteras se ha visto afectado (erosión de estribos, socavación de pilas y obras de contención) debido a avenidas extraordinarias (CEDEX, 2018). Estos daños pueden provocar cortes en las vías de comunicación que afecten la movilidad y el acceso a diferentes regiones, generando alteraciones en la circulación terrestre y en las cadenas de suministro. Por lo tanto, a partir de este riesgo, podrían derivarse dos riesgos en cascada que se describen a continuación.

En primer lugar, el **riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos** (CEDEX, 2018; Naturklima, 2020; Sanz & Galán, 2020) que hace referencia a la alteración o interrupción del tránsito vehicular debido a condiciones climáticas adversas, fenómeno que se ha dado en España en múltiples ocasiones (Huffpost, 2025a). Estas condiciones pueden dificultar la movilidad, aumentar el riesgo de accidentes, generar retrasos en el transporte de personas y mercancías, e incrementar las pérdidas y daños a las empresas del sector de transporte y logística. De hecho, solo debido al temporal de la dana en Valencia, el 50 % de estas empresas ha sufrido daños y se estima que las pérdidas en el transporte pesado han sido de 110.000 euros por cabeza tractora (Castellón al día, 2024).

En segundo lugar, el **riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte por carretera por eventos extremos** (CEDEX, 2018) se relaciona con la posible interrupción del flujo de bienes y materias primas como consecuencia de los daños en las infraestructuras viales y las dificultades en la circulación terrestre. Esto puede provocar desabastecimiento, incremento en los costos logísticos y retrasos en la entrega de productos esenciales para la industria y el comercio.

Riesgos relevantes relativos al transporte ferroviario

El **riesgo de daños en las infraestructuras de la red ferroviaria debido a eventos extremos** se encuentra documentado en numerosas fuentes de información como Adif, (2018); CEDEX, (2018); Sanz & Galán, (2020). El mismo se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos, como inundaciones, tormentas u olas de calor, deterioren o destruyan componentes de la infraestructura ferroviaria como vías, puentes, túneles y estaciones. De hecho, más del 40 % de la red se ha visto ya afectada por deslizamientos, inundaciones fluviales o precipitaciones torrenciales (CEDEX, 2018). Los daños generados por estos fenómenos pueden comprometer la seguridad del transporte ferroviario, generar retrasos y aumentar los costos de mantenimiento y reparación.

En este sentido, este riesgo desencadena dos nuevos riesgos: el **riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos** (CEDEX, 2018) y el **riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte ferroviario por eventos extremos**. El primero hace referencia a la suspensión o alteración del funcionamiento del transporte ferroviario a causa de eventos climáticos extremos, como inundaciones, vientos fuertes o temperaturas extremas, situaciones que pueden afectar la movilidad de pasajeros y mercancías, generando retrasos y pérdidas económicas. Los diferentes peligros han provocado ya sucesos en los que un gran número de personas no han podido utilizar convenientemente este tipo de transporte, quedando aisladas o necesitando buscar vías alternativas, si existen, con lo que ello puede suponer en cuanto al incremento en el tiempo de los desplazamientos.

El segundo riesgo derivado se relaciona específicamente con la posibilidad de que la suspensión o disminución del servicio ferroviario afecte el flujo de bienes y materias primas. Esto puede provocar retrasos en la entrega de productos, escasez de suministros esenciales y un aumento en los costos logísticos, impactando a sectores industriales y comerciales que dependen del transporte ferroviario. Así, la principal repercusión es en el sector de la industria, que cuenta con más de 2,3 millones de empleados (Ministerio de Industria y Turismo, 2022) así como en la ciudadanía en general, dado que puede verse afectado el acceso de las personas a bienes o servicios, o provocar un incremento de sus costes.

Por último, se ha identificado el **riesgo de mayores necesidades de refrigeración debido a un aumento de las temperaturas** (Adif, 2023a) el cual se refiere al aumento del gasto energético y operativo necesario para mantener la climatización de estaciones, terminales logísticas y coches de viajeros. Este riesgo se ha seleccionado dada la importancia de la climatización en el consumo energético: en verano, este presenta un incremento medio del 7 % por cada grado centígrado que aumenta la temperatura media (Castañares, 2018), y se prevé que la temperatura aumente en el corto plazo hasta 2 °C (AdapteCCa, s. f.).

Riesgos relevantes relativos al transporte aéreo

El primer riesgo relevante del transporte aéreo es el **riesgo de daños en las infraestructuras de la red aeroportuaria por eventos extremos** (Christodoulou, A. & Demirel, H., 2018; IHOBE, 2022b; Naturklima, 2021; Sanz & Galán, 2020). Se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos, como huracanes, tormentas, inundaciones costeras o fluviales, afecten la infraestructura aeroportuaria, incluyendo pistas, terminales, torres de control y sistemas de navegación. Estos daños pueden comprometer la seguridad de las operaciones aéreas y generar costos elevados de reparación y mantenimiento. Sin embargo, la mayoría de las incidencias registradas hasta el momento se traducen en un retraso del servicio (CEDEX, 2013).

Un segundo riesgo identificado en este tipo de transporte es el **riesgo de disminución de la operatividad de los aeropuertos por eventos extremos** (Christodoulou, A. & Demirel, H., 2018; IHOBE, 2022b; Naturklima, 2021; Sanz & Galán, 2020), que hace referencia a la reducción o interrupción de las operaciones aeroportuarias debido a condiciones climáticas adversas. Las consecuencias más comunes son retrasos, cancelaciones de vuelos y congestión del tráfico aéreo, afectando la movilidad de pasajeros y mercancías.

Por último, se ha identificado el **riesgo de pérdidas económicas por la variación de la capacidad del avión y longitud de pista para el despegue por aumento de las temperaturas** (CEDEX, 2011). Si bien este riesgo se encuentra mencionado en la bibliografía, se cuenta con escasa información al respecto. El mismo se refiere al impacto financiero derivado de la reducción de la capacidad de carga y pasajeros de los aviones debido a temperaturas más altas, que disminuyen la densidad del aire y reducen la sustentación. Esto obliga además a aumentar la longitud de pista necesaria para el despegue, lo que puede limitar la operatividad en aeropuertos con pistas cortas y generar costos adicionales por ajustes en las operaciones. Si bien las infraestructuras de la red aeroportuaria se encuentran distribuidas a lo largo de todo el territorio español y todas ellas son susceptibles de verse afectadas por el aumento de las temperaturas, los territorios más vulnerables pueden ser aquellos donde se prevé un incremento mayor de la temperatura, como por ejemplo Andalucía, Extremadura y Murcia (Visor de Escenarios de Cambio Climático de AdapteCCa).

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del sector de la movilidad y el transporte.

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR10.1	Transporte marítimo	Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos	RC10.1
RR10.2	Transporte marítimo	Riesgo de afección a las rutas comerciales del transporte marítimo por eventos extremos marítimos	-
RR10.3	Transporte marítimo	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte marítimo por eventos extremos	-
RR10.4	Transporte marítimo	Riesgo de aislamiento debido a la interrupción del transporte marítimo por eventos extremos marítimos	-
RR10.5	Transporte por carretera	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos	RC10.2
RR10.6	Transporte por carretera	Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos	RC10.3
RR10.7	Transporte por carretera	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte por carretera por eventos extremos	-
RR10.8	Transporte ferroviario	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red ferroviaria debido a eventos extremos	-
RR10.9	Transporte ferroviario	Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos	RC10.4
RR10.10	Transporte ferroviario	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte ferroviario por eventos extremos	-
RR10.11	Transporte ferroviario	Riesgo de mayores necesidades de refrigeración debido a un aumento de las temperaturas	-
RR10.12	Transporte aéreo	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red aeroportuaria por eventos extremos	-

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR10.13	Transporte aéreo	Riesgo de disminución de la operatividad de los aeropuertos por eventos extremos	-
RR10.14	Transporte aéreo	Riesgo de pérdidas económicas por la variación de la capacidad del avión y longitud de pista para el despegue por aumento de las temperaturas	-

4. Riesgos clave del sector de la movilidad y el transporte

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que se traducen en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición y en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector de la movilidad y el transporte, los riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC, (2022), y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts & Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa EEA (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector de la movilidad y el transporte, y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante, pueden consultarse en detalle en el AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos, que son, por tanto, catalogados como “Riesgos Clave” y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR10.1 Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos (RC10.1).
- RR10.5 Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos (RC10.2).
- RR10.6 Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (RC10.3).
- RR10.9 Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos (RC10.4).

A continuación, se describe en profundidad cada uno ellos.

4.1. RC10.1: Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos

El primer riesgo clave priorizado se corresponde con el riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos**.** Este riesgo, reconocido por Sanz & Galán (2020) y por Puertos del Estado (2016) incluye tanto la afectación a la integridad física de los puertos como la consecuente interrupción de las operaciones desarrolladas en ellos.

La **Figura 3** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando tanto las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y con él interactúan los peligros climáticos y otros factores que lo amplifican. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

Los impactos del cambio climático en los puertos españoles han sido muy documentados (Generalitat de Catalunya, 2021; Puertos del Estado, 2016; URBAN KLIMA, 2050). Entre ellos, se ha identificado que los efectos adversos del cambio climático pueden afectar la operatividad de los puertos (Jebbad *et al*., 2022) aumentando así la necesidad de asignación de recursos y de reparación y mantenimiento (Fernandez-Perez *et al*., 2024). En España se ha registrado una disminución de la operatividad en algunos puertos españoles como Puerto de Melilla, Ferrol, Huelva, Vigo, Bilbao, Cartagena, Cádiz, Málaga, Ceuta, Barcelona, entre otros, en los últimos años (Puertos del Estado, 2016).

Entre las principales afectaciones se han identificado la pérdida de funcionalidad de los muelles y embarcaderos, daños a pantalanes, aterramiento, agitación portuaria, afectación a la estabilidad de las obras de abrigo y rebase por oleaje (Puertos del Estado, 2016), que se dan fundamentalmente debido a eventos extremos (Izaguirre *et al*., 2021), incluyendo entre éstos inundaciones fluviales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.). Sin embargo, el viento y el oleaje fueron identificados como las variables relacionadas con el clima que más inciden en la operatividad de los puertos (Puertos del Estado, 2016). Para el caso concreto del viento, no se prevé que su velocidad aumente a corto plazo y, para el caso del oleaje, se prevé que la altura significante se incremente en el Cantábrico y disminuya en el Mediterráneo y Canarias (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023a).

Las consecuencias adversas pueden afectar a centenares de miles de personas de forma directa o indirecta. El riesgo de daños y disminución de la operatividad afectaría de forma directa tanto al personal trabajador como a las empresas logísticas, operadores, planificadores portuarios,

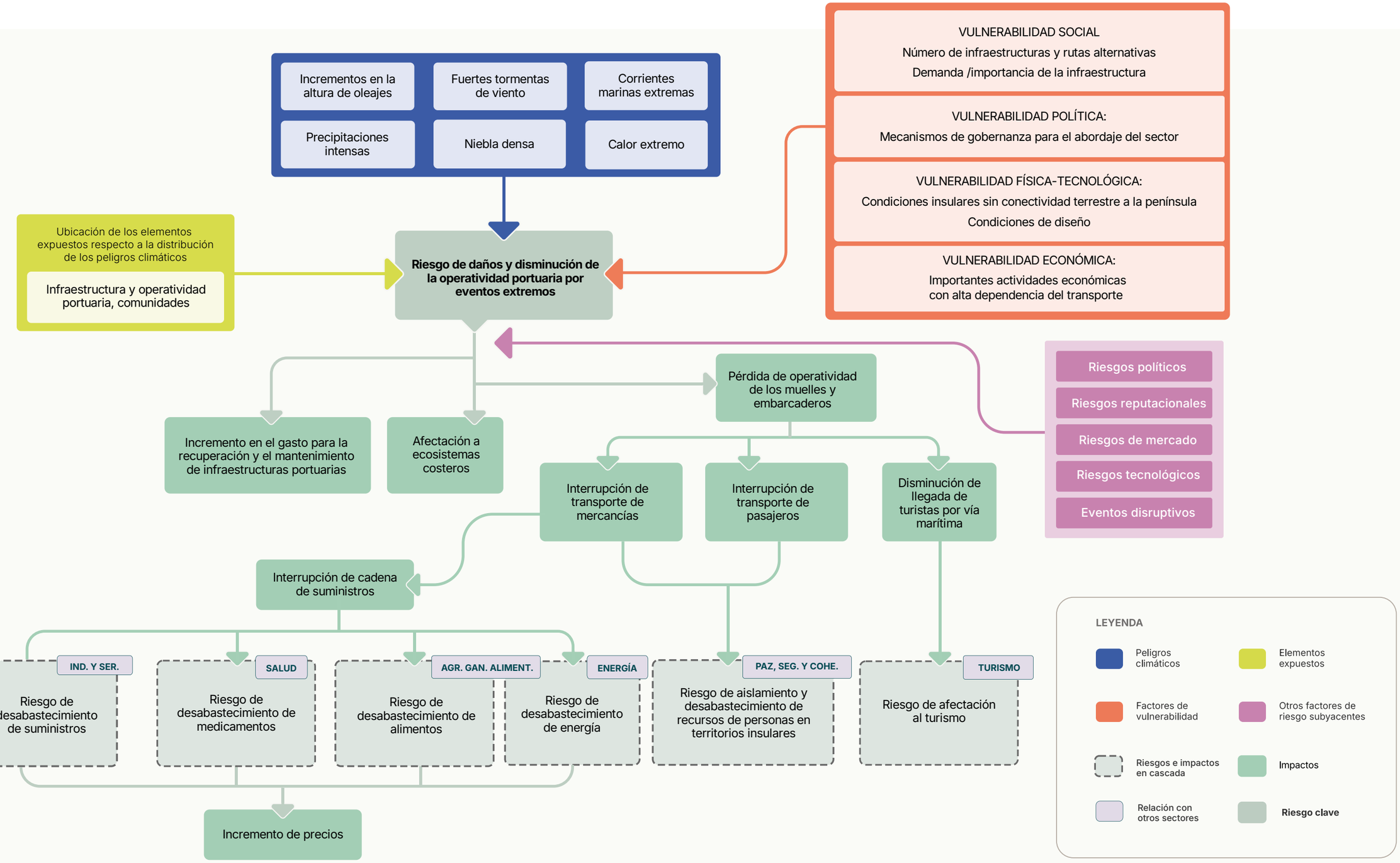


Figura 3. Cadena de impacto del riesgo clave "Daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos".

entre otros. Del mismo modo, afectaría a la población en general, ya que el transporte marítimo se podría ver afectado, condicionando tanto el transporte de mercancías como el de pasajeros. Según Puertos del Estado, la actividad del sistema portuario genera un empleo directo de unos 100.000 puestos de trabajo y de unos 175.000 de forma indirecta e inducida.

Sin embargo, hay población con mayor dependencia del funcionamiento de los puertos. En el caso de los territorios insulares, como Baleares y Canarias, o en el de las ciudades de Ceuta y Melilla, las condiciones geográficas sin conectividad terrestre con la Península suponen un factor de vulnerabilidad importante. La dependencia exclusiva del transporte marítimo para el suministro de bienes esenciales implica que cualquier interrupción de la operatividad de los puertos puede generar desabastecimiento y afectar gravemente a la población y a la economía local. De hecho, el puerto de Algeciras ya ha visto interrumpido el tráfico hacia Ceuta y Tánger por la borrasca Laurence en marzo de 2025 (Huffpost, 2025b).

En cuanto a la afectación a otros sectores, ciertas actividades económicas en España dependen en gran medida del transporte marítimo. Por ejemplo, el turismo, la pesca y el comercio internacional son particularmente vulnerables, por lo que cualquier interrupción en la operatividad portuaria podría generar pérdidas económicas y afectar el empleo. De hecho, en el puerto de Llanes, según Fernandez-Perez *et al.* (2024) se identifican los valores más altos de inoperatividad en relación con el uso pesquero, impulsados principalmente por la agitación del oleaje en periodos futuros.

Además, el limitado número de infraestructuras y rutas alternativas hace que cualquier afectación en un puerto principal o en sus accesos pueda generar bloqueos en la cadena de suministro por la dificultad para el desvío de mercancías y pasajeros hacia otras terminales. Asimismo, la interrupción del transporte de mercancías, si dejase a ciertos territorios sin abastecimiento, podría generar incremento de precios.

Las afectaciones ocasionadas por este riesgo podrían ser mayores en aquellos puertos españoles sobre los que se desarrolla una actividad económica más importante. De hecho, de acuerdo con las estadísticas ofrecidas por Puertos del Estado, en el ranking en cuanto al total de mercancías transportadas, Algeciras se sitúa en primera posición, seguido de Valencia y Barcelona (Puertos del Estado, s. f.-b). La alta demanda y la importancia estratégica de las infraestructuras portuarias en España amplifican el impacto de cualquier interrupción en su funcionamiento. Estos tres puertos mencionados son nodos clave del comercio internacional, por lo que una paralización en sus operaciones puede afectar no solo a la economía nacional, sino también a la logística global. Además, la dependencia de estos puertos para el abastecimiento de ciertos sectores hace que cualquier colapso tenga repercusiones en la producción y el consumo.

Ficha 1. Análisis del riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto[5]	Limitada	Sustancial	Crítica	Crítica
	Hoy, la mayoría de los puertos tienen márgenes de operatividad razonables, aunque algunos ya muestran afecciones puntuales: cierres temporales por eventos extremos, rebase de diques (4 puertos fueron identificados con riesgo de rebasamiento en el período 1986–2005 según Sánchez-Arcilla *et al.,* (2016)) o problemas de sedimentación. El impacto económico agregado es bajo a nivel nacional y las interrupciones son episódicas. No constan aún grandes pérdidas acumulativas ni efectos sistémicos relevantes sobre cadenas de suministro a escala país.	Los planes autonómicos empiezan a señalar puertos con riesgo alto en varios litorales. Aumentan los episodios de superación de umbrales de operatividad (agitación, rebase, inundación de explanadas, dragados extraordinarios y cierres preventivos), con afectación simultánea de varios enclaves y repercusiones logísticas regionales. Puntualmente, el número de puertos marítimos bajo riesgo de inundación en España es 22[6] (Christodoulou, A. & Demirel, H., 2018). Según Nokkala *et al.,* (2012). Los costos anuales por retrasos asociados a un evento son, como máximo, de 0,96 M€ de euros, por lo que en 22 puertos esta cifra alcanzaría los 21 M€.	Para 2050, los inventarios autonómicos estiman 35 puertos en Cataluña, 16 en Islas Baleares, 12 en Principado de Asturias, 3 en Cantabria y 2 en Región de Murcia en situación de riesgo alto o muy alto. Según Nokkala *et al.,* (2012). Los costos anuales por retrasos asociados a un evento son, como máximo, de 0,96 M€ de euros, por lo que en 68 puertos esta cifra alcanzaría los 65 M€ (0,0041 % del PIB). Sin embargo, esta cifra no toma en cuenta otros costos por daños e interrupciones, por lo que se ha tomado en consideración la participación de los puertos en el PIB: considerando una media anual de pérdidas parciales de 0,002 % PIB/puerto[7], y considerando	El riesgo se multiplica: hasta 69 puertos en Cataluña (CIIR, 2023), 49 en Baleares (Ports IB, 2021), 17 en Asturias (Gobierno del Principado de Asturias, 2021), 14 en Murcia (IHCantabria 2021b) y 5 en Cantabria (IHCantabria, 2021a) en situación de riesgo alto o muy alto (en total, 154 puertos). Además, el número de puertos marítimos específicamente bajo riesgo de inundación en España asciende a 47[8] (Christodoulou, A. & Demirel, H., 2018). Según Nokkala *et al.,* (2012). Los costos anuales por retrasos asociados a un evento son, como máximo, de 0,96 M€ de euros, por lo que en 154 puertos esta cifra alcanzaría los 147 M€ (0,009 % del

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[5] El análisis de la severidad del impacto incluye referencias cruzadas al riesgo clave descrito en el capítulo de Costas: "riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructura de protección portuaria por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos"

[6] Esta proyección se encuentra realizada a 2030.

[7] El sistema portuario en su conjunto representa aproximadamente el 1 % del PIB (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenibles, Puertos del Estado, s. f.), con entre 250 y 300 puertos (estatales, autonómicos, deportivos y pesqueros). De forma muy aproximada, cada puerto aportaría en torno al 0,004 % del PIB. Si se asume que no se produciría un colapso total, sino una pérdida parcial promedio anual, la estimación sería de alrededor del 0,002 % del PIB por puerto.

[8] Esta proyección se encuentra realizada a 2080.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto		Este valor correspondería a la categoría 'limitada', pero por considerarse que los costos por retrasos por inundaciones son un subconjunto de los costos de daños e interrupción de la operatividad, se ha elevado la categoría a "sustancial".	que son 68 puertos con riesgo alto y muy alto, el total de pérdidas anuales estimadas es de 0,136 % del PIB. Dado que solo se cuenta con datos de 5 CCAA y hay 10 CCAA costeras se asume que como máximo el impacto puede ser del 0,272 % del PIB.	PIB). Sin embargo, esta cifra no toma en cuenta otros costos por daños e interrupciones, por lo que se ha tomado en consideración la participación de los puertos en el PIB: considerando una media anual de pérdidas parciales de 0,002 % PIB/puerto[9], y considerando que son 154 puertos con riesgo alto y muy alto, el total de pérdidas anuales estimadas es de 0,3 % del PIB. Dado que solo se cuenta con datos de 5 CCAA y hay 10 CCAA costeras se asume que como máximo el impacto puede ser de 0,6 % del PIB.
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Medio ◆◆ · Medio · Medio Se considera que la calidad es media por tratarse Sánchez-Arcilla, *et al* (2016) de un artículo académico, pero éste es una base de datos solamente de los puertos de Cataluña (cobertura territorial baja). Por otro lado, hay consenso científico en que la funcionalidad portuaria ya es sensible a eventos extremos.	Medio ◆◆ · Media · Alto Se considera que la calidad es media por tratarse de publicaciones oficiales y de una publicación de un centro de investigación aplicado. Respecto al consenso, los estudios cubren todo el territorio nacional, por lo que se ha establecido un nivel alto.	Medio ◆◆ · Media · Medio Se considera que la confianza es media por tratarse de planes de administraciones de comunidades autónomas. Respecto al consenso, las fuentes cubren la mitad del territorio costero por lo que se ha establecido un nivel medio.	Medio ◆◆ · Media · Medio Se considera que la confianza es media por tratarse de planes de administraciones de comunidades autónomas. Respecto al consenso, las fuentes cubren la mitad del territorio costero por lo que se ha establecido un nivel medio.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[9] *Ibídem.*

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incrementos en la altura de oleajes. • Precipitaciones intensas. • Fuertes tormentas de viento. • Niebla densa. • Corrientes marinas extremas. • Calor extremo.	• Infraestructuras portuarias. • Operatividad portuaria. • Comunidades.	• Número de infraestructuras y rutas alternativas. • Condiciones de diseño. • Demanda/importancia de la infraestructura. • Mecanismos de gobernanza para el abordaje del sector. • Condiciones insulares sin conectividad terrestre a la Península. • Importantes actividades económicas con alta dependencia del transporte.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El 33 % de las exportaciones y el 39 % de las importaciones (en unidades monetarias) dependen del transporte marítimo en España, por lo que los daños y la disminución de la operatividad portuaria podrían tener repercusiones importantes en el comercio internacional (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022).
Territoriales	Dentro del informe de Puertos del Estado (Puertos del Estado, 2024) se refleja que una gran cantidad de puertos españoles (p. ej.puertos de Melilla, Ferrol, Huelva, Vigo, Bilbao, Cartagena, Cádiz, Málaga, Ceuta, Barcelona, entre otros) han visto reducida su operatividad en los últimos años. Este informe identifica el viento y el oleaje como las variables relacionadas con el clima que más inciden en la operatividad de los puertos. Para el caso concreto del viento, no se prevé que aumente a corto plazo y, para el caso del oleaje, se prevé que la altura significante se incremente en el Cantábrico y disminuya en el mediterráneo y Canarias (Losada Rodríguez *et al.,* 2014). Sin embargo, no todos los puertos tienen el mismo peso en cuanto a volumen de mercancías transportadas: Algeciras se sitúa en primera posición, seguido de Valencia y Barcelona (Puertos del Estado, s. f.-a).
Sociales	Grupos sociales que se verán potencialmente más afectados: • Pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios que puedan sufrir interrupción en su producción por cese de suministros que provienen del exterior por vía marítima. • Población con menos recursos, debido a un potencial incremento de los precios de productos debido a la interrupción de cadenas de suministros. • Trabajadores del sector que pueden enfrentar cambios en sus condiciones laborales y posibles pérdidas de empleo por la interrupción o cese de actividad.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático (por ejemplo, la integridad de los ecosistemas costeros) podría exacerbar los impactos de los eventos extremos.
Género	La tasa de pobreza entre las mujeres (20,8 %) es más elevada que entre los hombres (19,5 %) (Alguacil Denche *et al.*, 2024; Observatorio del transporte y la logística en España, 2023). Un incremento en los precios por la interrupción de cadenas de suministros derivadas del riesgo clave descrito podría llevar a un aumento en la desigualdad en género.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales críticos están relacionados con los umbrales de diseño de las infraestructuras y por lo general, los equipos portuarios están diseñados para periodos de vida útil de 20 a 50 años y para condiciones climáticas marítimas que se van a ver alteradas por el cambio climático.
Lock-in/Bloqueo	La construcción o la renovación de las infraestructuras dañadas sin tener en cuenta la evolución de los peligros climáticos en su diseño puede limitar la capacidad de respuesta y de adaptación de la instalación.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• A nivel europeo, se encuentra la **Estrategia portuaria europea integral**. La misma destaca que la seguridad de los puertos depende de su resiliencia al cambio climático y medioambiental; pide, por tanto, a la Comisión, que lleve a cabo un estudio para analizar los riesgos climáticos para los puertos europeos y las infraestructuras de transporte conexas, estableciendo categorías de riesgos, por ejemplo, el aumento del nivel del mar, las inundaciones y el calor extremo, a fin de analizar los riesgos por región e identificar las medidas para hacerles frente, así como los costes de estas medidas y las inversiones necesarias; pide a los Estados miembros que lleven a cabo una evaluación de los riesgos medioambientales a largo plazo de sus infraestructuras portuarias críticas y que adopten medidas de adaptación de forma oportuna. A nivel nacional destaca la siguiente normativa y documentación, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • El **PNACC** establece las siguientes líneas de trabajo para la adaptación de las infraestructuras portuarias: · Integración de los riesgos costeros en planes y programas que incluyen al espacio litoral (Línea de acción 7.3). · Impulso institucional y a la participación social para la adaptación en la costa y el mar (Línea de acción 7.5). · Sistemas de observación, seguimiento y vigilancia de la operatividad de las infraestructuras (Línea de acción 11.1). · Integración de los efectos del cambio climático en la normativa para el cálculo y diseño de las infraestructuras del transporte (Línea de acción 11.2).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	· Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte existentes (Línea de acción 11.3). · Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte nuevas (Línea de acción 11.4). · Apoyo y refuerzo de la adaptación al cambio climático en las administraciones públicas y otros sectores y agentes (Línea de acción 11.5). • El **Marco Estratégico del Sistema Portuario** reconoce la adaptación al cambio climático como uno de sus objetivos generales. Para 2025 se tiene como meta que todas las autoridades portuarias dispongan de planes de adaptación, así como de un observatorio portuario del cambio climático, y para 2030 se tiene como meta que el 100 % de los puertos estén adaptados al cambio climático. • La nueva **Estrategia de Seguridad Marítima Nacional** establece en su acción 22 la revisión de la información y estudios disponibles con relación al impacto del cambio climático en los sectores económicos vinculados al mar. Para ello, revisará los impactos y posibles medidas en relación con infraestructuras esenciales como los puertos. • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** establece que se fomentará la mejora de las redes eléctricas de los puertos (Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, 2021). Además, especifica La adecuación de las nuevas instrucciones de cálculo y diseño de la edificación y las infraestructuras de transporte a los efectos derivados del cambio climático, así como la adaptación progresiva de las ya aprobadas [...]. A nivel autonómico, varias comunidades disponen de planes de adaptación de sus puertos adscritos (p. ej.Cataluña, País Vasco, Asturias, Valencia).
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: Establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. • Puertos del Estado. • Comunidades autónomas. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Sector privado. • Autoridades Portuarias. • Sindicatos. • ONG locales.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Mejora en la resiliencia frente a los eventos extremos. • Reducción de costes de operación y mantenimiento. • Reducción de los riesgos en cascada identificados.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Si las obras de adaptación implican la pérdida o alteración de ecosistemas costeros (por ejemplo, humedales), se podría reducir su capacidad para actuar como sumideros de carbono. • Instalaciones como sistemas de bombeo contra inundaciones, barreras móviles o sistemas de refrigeración adicionales para proteger equipos pueden incrementar significativamente el consumo energético del puerto. • La elevación de los puertos en altura para evitar impactos por aumentos del nivel del mar implicaría un consumo energético muy elevado debido fundamentalmente a los requerimientos de hormigón.
Déficits de información	• No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales impactos en cascada identificados. • La información relativa al alcance espacial del riesgo, su impacto sobre la población y la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. El riesgo se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.2. RC10.2: Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos

El riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos, identificado en CEDEX (2018), se refiere a la posibilidad de que fenómenos climáticos severos causen deterioro o destrucción de la integridad física de carreteras, puentes y túneles. Estos daños pueden provocar cortes en las vías de comunicación, que afecten a la movilidad y el acceso a diferentes regiones, generando alteraciones en la circulación terrestre (RC3) y en las cadenas de suministro.

La **Figura 4** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando tanto las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), como los impactos derivados. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema y con él interactúan los peligros climáticos y otros factores que lo amplifican. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

Los diferentes elementos de la red de carreteras (taludes, calzadas, firmes y puentes, entre otros) ya se han visto afectados por numerosos peligros climáticos como inundaciones fluviales, pluviales, temperaturas extremas, heladas, nevadas, entre otras, en el pasado reciente (CEDEX, 2018; Naturklima, 2020) y se prevé que sigan afectándoles en el futuro. De hecho, hasta un 2,8 % de las carreteras que contribuyen de forma más significativa a la accesibilidad territorial del sistema de transporte sufrirán las mayores afectaciones por cambio climático (Ortega *et al.*, 2020).

Uno de los peligros que aumentará su intensidad en el futuro son las inundaciones costeras. Según el PIMA Adapta-Costas Canarias (Gobierno de Canarias, 2021), para el año 2050 se prevé un incremento de inundaciones costeras como consecuencia de la subida del nivel del mar y eventos extremos de oleaje. En la actualidad, en las carreteras (urbanas e interurbanas) de varias islas Canarias (El Hierro, Fuerteventura, Gran Canaria, Lanzarote y Tenerife), se ha identificado una potencial afección puntual del peligro de inundación costera. En Euskadi, entre 426 y 445 tramos de carretera también se ven potencialmente afectadas por este peligro (IHOBE, 2022b) y en Baleares, las vías potencialmente más expuestas son caminos rurales o calles de núcleos urbanos (Marcos *et al.*, 2021).

En lo que respecta a las inundaciones fluviales, de acuerdo con los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación, se observa una potencial afección en las vías de comunicación de las demarcaciones hidrográficas del Duero y Ceuta bajo el periodo de retorno de 500 años (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.). Además, en España se prevé un incremento a corto plazo (2011-2040) del factor de torrencialidad (CEDEX, 2018) lo que incrementaría a su vez las inundaciones fluviales y pluviales.

Además de inundaciones, deslizamientos y otros eventos hidrometeorológicos extremos, el aumento de las temperaturas también puede causar daños graves en las infraestructuras. En un escenario de altas

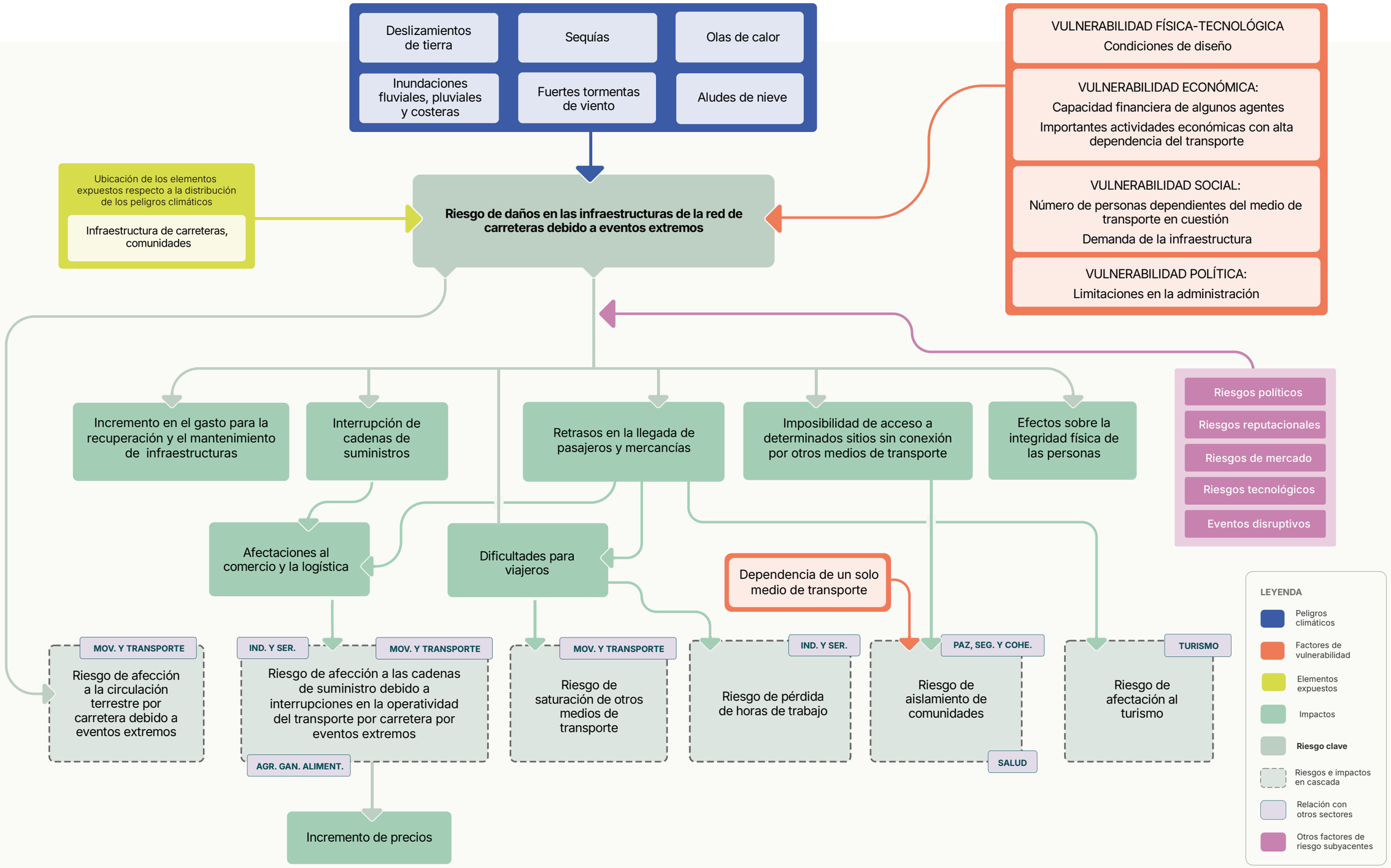


Figura 4. Cadena de impacto del riesgo clave "Daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos".

emisiones, la temperatura máxima podría aumentar hasta 1,2 °C en el futuro cercano, hasta 2,6 °C entre 2041 y 2070, y alcanzar un máximo de 4,3 °C hacia finales de siglo (AdapteCCa, s. f.). Como consecuencia, se proyecta un aumento en la frecuencia e intensidad de las olas de calor, peligro especialmente relevante para el transporte por carretera. Se estima que, para la década de 2080, las olas de calor podrían ser responsables del 92 % de los daños en las carreteras, afectando la infraestructura vial con fenómenos como el derretimiento del asfalto (Climate-KIC, 2018) y la formación de roderas en el pavimento (Forzieri *et al.*, 2018).

Este riesgo de las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos podría generar otros riesgos en cascada. Como efecto más directo, se produciría un retraso y/o impedimento de llegada de pasajeros y mercancías a destino. Por ejemplo, en un estudio exploratorio de Naturklima, (2020) se estimó que, en Gipuzkoa, una posible afección debida a inundaciones podría impedir que el 30 % de la población accediera actualmente a los principales hospitales de la provincia. Bajo un escenario RCP 8.5, se estimó que el impacto aumentaría, afectando al 38 % de la población.

Otros efectos directos son el incremento en el gasto para la recuperación y el mantenimiento de infraestructuras (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2020), el incremento de los accidentes y, por lo tanto, de la integridad física de las personas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023b), y la saturación de otros medios de transporte. Si un fenómeno meteorológico extremo, como una inundación, afectara a las vías férreas, la carretera podría considerarse una ruta alternativa. Sin embargo, existe la posibilidad de que tampoco esté operativa, lo que podría provocar interrupciones en las cadenas de suministro o aislamiento de comunidades.

Cabe destacar, por otro lado, que este riesgo puede afectar de manera diferencial a diferentes tramos de vías: la mayoría de las de criticidad media a alta son vías de alta capacidad. Estas se encuentran próximas a las ciudades de Madrid, Santander, Oviedo, Barcelona, Valencia, Murcia, Alicante, Sevilla y Málaga. A esto se le suma también las secciones radiales (especialmente las que salen de Madrid hacia la costa de Levante y Andalucía) y otros corredores, como el Mediterráneo (CEDEX, 2018). En línea con esto, en este estudio también se presentan las secciones de carreteras con mayor afectación prevista en los próximos 30 años, y los resultados arrojan que éstas se encuentran cercanas a las ciudades de Córdoba, Granada, Lleida, Huesca, Oviedo, León y Alicante (CEDEX, 2018).

Además, los daños en las carreteras afectan de manera diferencial a distintos grupos de población, siendo los trabajadores del sector unos de los más afectados. En España, el transporte por carretera es el principal empleador del conjunto de los transportes en España, ocupando a cerca del 70 % de la población que directamente trabaja en los transportes (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, s. f.). Además, existen actividades económicas con alta dependencia del transporte por carretera, como la industria, la agricultura o la ganadería, por lo que éstas se verán más afectadas por el riesgo en cuestión.

Ficha 2. Análisis del riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Limitada	Sustancial	Crítica
	La longitud de las secciones de la red de carreteras que no se ven afectadas por ningún evento de naturaleza climática, o sólo de forma reducida, es el 57 %; en las que se prevé alguna afectación moderada es del 37 %; y con afección importante del 6 % (CEDEX, 2018). Además, solo la reparación de las carreteras de Valencia tras la dana fue de 123 M€ (0,0077 % del PIB) (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024).	Muchas carreteras se encuentran próximas a la costa, donde existe una alta probabilidad de que se produzcan posibles impactos de manera importante entre 2030 y 2050 por incrementos de oleajes extremos e inundaciones costeras (Gobierno de Canarias, 2021). Además, para la Península Ibérica, se espera que los sistemas de precipitaciones más grandes aumenten en número, intensidad y tamaño (capítulo de variables climáticas). Por estos motivos se asume que, como mínimo, la severidad es la misma que en el escenario anterior.	En 30 años, la longitud de las secciones de la red de carreteras que no se verán afectadas por ningún evento de naturaleza climática, o sólo de forma reducida, será del 44 %; en las que se prevé alguna afectación moderada es del 46 %; y con afección importante del 10 % (CEDEX, 2018). Se estima que los costes de adaptar las superficies de las carreteras a temperaturas más altas serían de 38,5 millones de euros (0,0024 % del PIB) a 135 millones de euros al año (0,0085 del PIB) para 2040-2070 (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, s. f.), lo que cabe inferir que los costos por daños serán mayores. Por este motivo se ha considerado una categoría sustancial.	A largo plazo (2080s) serán las olas de calor el principal peligro que dará lugar al 92 % de los daños totales provocando roderas en el pavimento de las carreteras (Forzieri *et al.*, 2018) y se prevé que éstas, hacia finales de siglo en un escenario RCP 8.5 tendrían entre 15 a 50 días más que su promedio en el periodo de referencia (1971-2000) en la España peninsular (capítulo de variables climáticas). Por este motivo se ha seleccionado una severidad crítica.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Medio ◆◆ · Media · Medio	Medio ◆◆ · Baja · Alto	Medio ◆◆ · Media · Bajo	Medio ◆◆ · Baja · Alto
	La referencia de la dana está restringida a un territorio concreto, pero el estudio de CEDEX (2018) es oficial y cubre todo el territorio nacional, por lo que se considera tanto la calidad como el consenso, medios.	No hay estimaciones de impacto (calidad baja). Sin embargo, hay un consenso alto sobre la evolución del peligro.	Se trata de publicaciones oficiales (calidad media) y es una sola base de datos (consenso bajo).	No hay estimaciones de impacto (calidad baja). Sin embargo, hay un consenso alto sobre la evolución del peligro.

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Deslizamientos de tierra. • Inundaciones fluviales, pluviales y costeras. • Sequías. • Fuertes tormentas de viento. • Olas de calor. • Aludes de nieve.	• Infraestructura de carreteras. • Comunidades.	• Capacidad financiera de algunos agentes. • Número de personas dependientes del medio de transporte en cuestión. • Condiciones de diseño. • Limitaciones en la Administración. • Demanda /importancia de la infraestructura. • Importantes actividades económicas con alta dependencia del transporte.

Aspectos transversales	
Transfronterizos	El 54 % de las exportaciones y el 80 % de las importaciones (en unidades monetarias) dependen del transporte por carretera en España, por lo que los daños a las infraestructuras podrían tener repercusiones importantes en el comercio internacional (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Territoriales	• Existen infraestructuras de la red de carreteras (taludes, calzadas, firmes y puentes, entre otras) susceptibles de ser afectadas por eventos extremos (inundaciones fluviales, pluviales, costeras, temperaturas extremas) en todas las comunidades autónomas. • En la red de carreteras, la mayoría de las vías de criticidad media a alta son vías de alta capacidad próximas a las ciudades de Madrid, Santander, Oviedo, Barcelona, Valencia, Murcia, Alicante, Sevilla y Málaga. A estas se suman también las secciones radiales (especialmente las que salen de Madrid hacia la costa de Levante y Andalucía) y otros corredores, como el Mediterráneo (CEDEX, 2018). • En un futuro, según el estudio elaborado por Van Ginkel *et al.,* (2022), el 16 % de las carreteras de España podrían verse afectadas por inundaciones fluviales. Ortega *et al.,* (2020) recoge también una afección en el transporte terrestre para el horizonte 2045-2055. • Los entornos rurales pueden verse gravemente afectados por eventos climáticos extremos, enfrentando riesgos de aislamiento, interrupción de servicios básicos como el suministro eléctrico o el acceso a atención médica, y dificultades en la movilidad debido a la vulnerabilidad de sus infraestructuras (Aguado *et al.,* 2022).
Sociales	Grupos sociales que se verán potencialmente más afectados: • Residentes en poblaciones pequeñas, dado que sus infraestructuras dañadas podrían considerarse de menor prioridad para su arreglo (EEA, 2024). • Pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios que puedan sufrir interrupción en su producción por cese de suministros transportados por vía terrestre. • Población que habita en zonas donde coexisten varios peligros de manera simultánea (proximidad a ríos y a línea de costa), o donde las infraestructuras viarias tienen características físicas que las hacen más vulnerables (p. ej.por mantenimiento insuficiente de las infraestructuras, antigüedad de la infraestructura).
Maladaptación	La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático podría exacerbar los daños por eventos extremos.
Género	Las empleadas en el mercado informal en Europa son más numerosas que los hombres en la misma situación (International Labour Organization, 2023). Esta condición de vulnerabilidad podría intensificarse en contextos de afectación a la infraestructura, especialmente cuando compromete la accesibilidad a zonas metropolitanas y polígonos industriales. En tales escenarios, la interrupción de la operatividad y las dificultades para acceder al lugar de trabajo podrían derivar en inasistencias o retrasos, con la consiguiente pérdida de ingresos y agravamiento de la precariedad laboral.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	El asfalto del pavimento es un material sensible a la temperatura del aire, así como a las inundaciones (Almeida & Picado-Santos, 2022). Para el caso concreto de las temperaturas extremas, existe un umbral crítico a partir del cual empieza a deteriorarse (49 °C) si se expone durante periodos prolongados.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	• Las infraestructuras construidas bajo supuestos climáticos obsoletos pueden no ser capaces de manejar fenómenos más intensos o frecuentes, como tormentas severas o inundaciones. • Muchas redes de carreteras están diseñadas con puntos únicos de conexión (puentes, túneles o carreteras principales) que, si se ven afectados, paralizan la red entera. • La ausencia de rutas alternativas para desviar el tráfico durante un evento extremo puede afectar la evacuación. • La heterogeneidad de guía para la valoración de riesgos en infraestructuras no ajustadas al último marco conceptual del IPCC puede generar confusión en la comunicación de resultados e impedir la comparabilidad entre sectores.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• A nivel europeo, la UE, en sus **Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027** (Diario Oficial de la UE, 2021), en la sección de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), sugiere evaluar, por un lado, las infraestructuras en riesgo debido a su ubicación en zonas inundables y, por otro, cuáles son los activos de la infraestructura clave (por ejemplo, segmentos e intersecciones de carreteras, infraestructuras de suministro de agua, infraestructuras energéticas, zonas industriales y grandes vertederos) en riesgo debido a su ubicación en áreas que podrían inundarse como consecuencia del aumento del nivel del mar o de que están sometidas a la erosión costera. Además, en la EAE se contemplan corrimientos de tierras, el aumento del nivel del mar junto con la erosión costera y la intrusión salina, las olas de frío y la acumulación de nieve, los daños por congelación-descongelación, así como los incendios forestales, todos ellos con potencial de generar daños en infraestructuras. A nivel nacional, destaca la siguiente normativa, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias líneas de trabajo que se vinculan con la gestión del presente riesgo: Sistemas de observación, seguimiento y vigilancia de la operatividad de las infraestructuras (Línea de acción 11.1); Integración de los efectos del cambio climático en la normativa para el cálculo y diseño de las infraestructuras del transporte (Línea de acción 11.2); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte existentes (Línea de acción 11.3); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte nuevas (Línea de acción 11.4); Apoyo y refuerzo de la adaptación al cambio climático en las administraciones públicas y otros sectores y agentes (Línea de acción 11.5). • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** especifica La adecuación de las nuevas instrucciones de cálculo y diseño de la edificación y las infraestructuras de transporte a los efectos derivados del cambio climático, así como la adaptación progresiva de las ya aprobadas [...].

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Además, la Dirección General de Carreteras, para la elaboración del Plan de Adaptación al Cambio Climático de la Red de Carreteras del Estado que se está elaborando en la actualidad, toma como marco de referencia la **metodología desarrollada por el Comité Técnico de Medio Ambiente (C-14) de la Asociación Técnica de Carreteras de España en su ciclo 2020-2023**. Aparte de este plan, también cuenta y está elaborando en la actualidad otras medidas que actúan sobre la capacidad de adaptarse. Algunas de estas son: • **Plan de Vialidad Invernal**, que coordina acciones preventivas, dando respuesta a nevadas, heladas y otros fenómenos climáticos adversos. • **Sistema de Comunicación Rápida de Accidentes Graves** (SICRAG) junto con el **sistema de registro de incidencias de la DGC** (INFORUTA). • Futuro **sistema de gestión de inundaciones** que se está desarrollando en la actualidad, con el fin de mejorar la gestión de los eventos hidrometeorológicos extremos. • Mejoras que se están acometiendo para el **inventariado, inspección y monitorización de activos** que permitan predecir la evolución de daños y anticipar intervenciones mediante mantenimiento predictivo, reduciendo de esta manera la probabilidad de fallo estructural y optimizando los recursos de conservación. Adicionalmente, en los últimos años se han desarrollado múltiples acciones con el fin de reducir este tipo de riesgo. • **Sistema de avisos meteorológicos** (con niveles amarillo, naranja y rojo) y se difunden a través del Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (Plan Meteoalerta). Son avisos sobre lluvias, nevadas, vientos, tormentas, temperaturas máximas y mínimas, fenómenos costeros, etc., además de los avisos especiales por olas de calor y frio, entre otros (AEMET, 2025). • Desde el **planificador de rutas de AEMET** (AEMET, s. f.) se establecen ciertos umbrales para una serie de variables meteorológicas (temperatura, viento, precipitación y nieve) para las cuales se define el riesgo para la conducción.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. • Comunidades autónomas. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Sector privado. • Ayuntamientos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los costos de mantenimiento. • Reducción de pérdidas y daños. • Reducción de los riesgos en cascada identificados. • Incremento de la seguridad vial. • Incremento de la durabilidad de las infraestructuras. • Menores interrupciones del transporte. • Fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante emergencias.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Las mejoras en la infraestructura de transporte por carreteras podrían incentivar el uso del coche e impactar negativamente en la descarbonización.
Déficits de información	• La información relativa al impacto sobre la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • La evaluación de costos de daños a carreteras por eventos extremos en los escenarios temporales de corto, medio y largo plazo no se encuentra estimada.
Recomendaciones de priorización	Riesgo con impactos relevantes, previsibles en el corto / medio plazo y que requieren planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Se requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. El riesgo se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.3. RC10.3. Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos

El **riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos** (Naturklima, 2020; CEDEX, 2018; Sanz & Galán, 2020) hace referencia a la alteración o interrupción del tránsito vehicular debido a condiciones climáticas adversas y podría ser consecuencia del RC2, aunque también podría generarse por eventos climáticos extremos que no dañen las carreteras (por ejemplo, precipitaciones torrenciales que, sin dañar las infraestructuras, interrumpen la conectividad).

La **Figura 5** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema y con él interactúan los peligros climáticos y otros factores que lo amplifican. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

Como el riesgo clave de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos es un riesgo en cascada del RR 10.8 Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos, ambos comparten numerosos efectos en cascada, así como ciertas vulnerabilidades y la totalidad de los peligros identificados y proyectados. Por ello, la descripción de este riesgo clave se centrará únicamente en algunos de los impactos en cascada que genera.

La interrupción del transporte por carretera es de suma importancia ya que mueve el 95 % de las mercancías de nuestro país y el 86 % de los viajeros interurbanos de pasajeros (Observatorio del Transporte y la Logística en España, s. f.). En este sentido, la interrupción de las vías de comunicación por carretera podría generar retrasos en la llegada de pasajeros, afectando a la población y generando sobrecarga de otros medios de transporte, como el ferrocarril.

Con respecto a la circulación de materias primas, la circulación por carretera abarca más de la mitad de los productos exportados y el 80 % de los importados (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022) por lo que la interrupción de estos servicios podría afectar a una parte considerable de la economía española. Como efecto en cascada, la escasez de productos importados, como materias primas, alimentos o combustibles, puede generar un aumento en los precios debido a la menor oferta y la creciente demanda. Esto, a su vez, contribuye a la inflación y reduce el poder adquisitivo de los consumidores. Las empresas también podrían verse gravemente afectadas, ya que muchas dependen de insumos procedentes del extranjero para mantener su producción. Cuando estos no llegan a tiempo o sus costos se elevan, las compañías pueden verse obligadas a reducir su actividad, aumentar precios o incluso cesar operaciones, lo que puede derivar en despidos y pérdida de empleos.

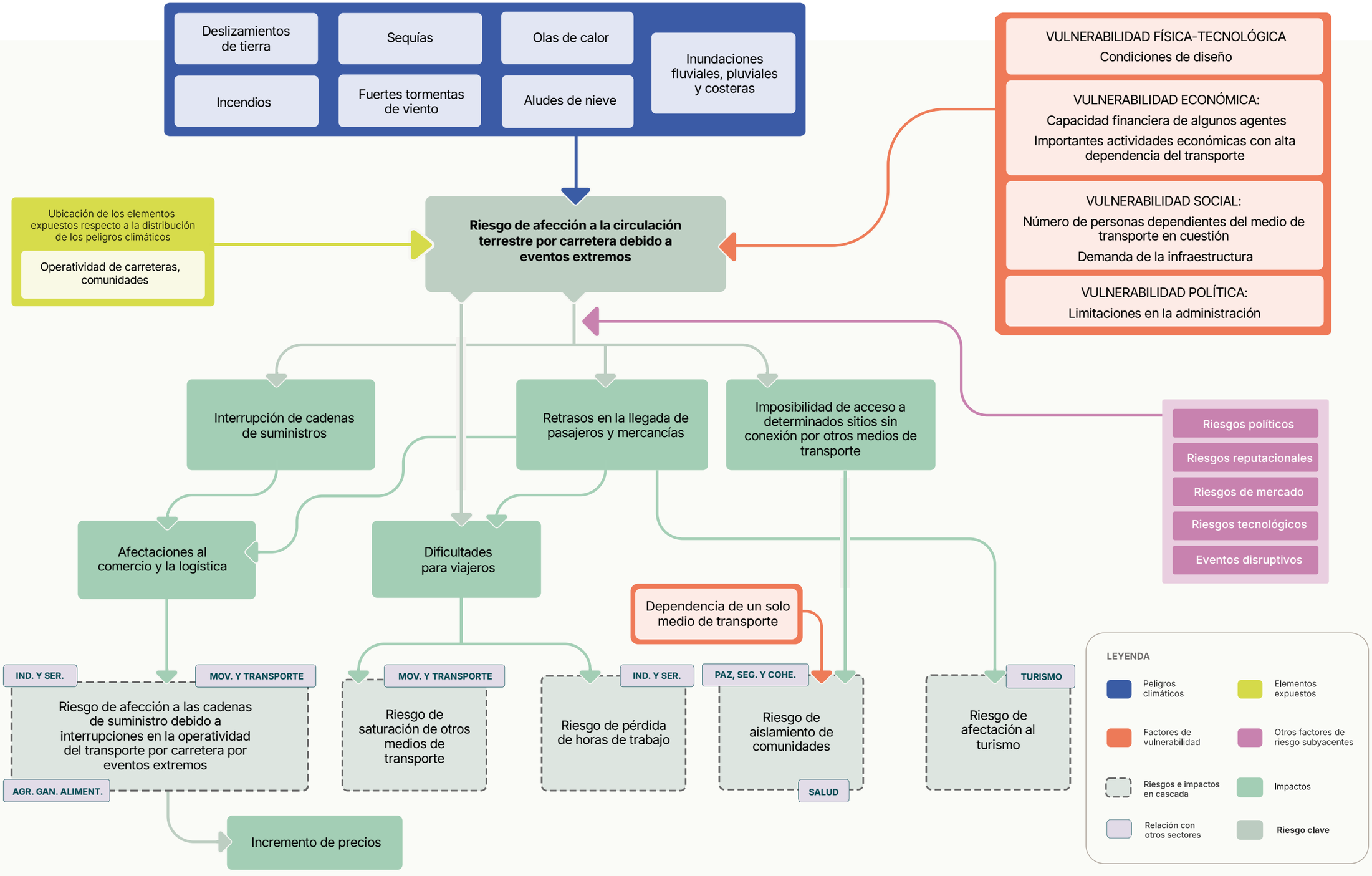


Figura 5. Cadena de impacto del riesgo clave de "Afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos".

Además, en España existen numerosos pueblos y pequeñas localidades, especialmente en zonas rurales y montañosas, cuyo único acceso es a través de carreteras. Esto implica que cualquier interrupción en la circulación, ya sea por fenómenos climáticos extremos como inundaciones, nevadas o desprendimientos de tierra, puede derivar en un aislamiento total de estas comunidades. En estos casos, el riesgo de aislamiento es particularmente crítico, ya que la falta de rutas alternativas dificulta la llegada de ayuda, suministros esenciales y servicios de emergencia. Además, tras un evento extremo, la reparación de las infraestructuras en estas pequeñas localidades puede retrasarse, ya que suelen tener una menor prioridad en comparación con otras áreas más pobladas o estratégicas (EEA, 2024).

En casos concretos, la interrupción del transporte por carretera puede afectar a los medios de vida de las personas. Por ejemplo, cuando el paso fronterizo de Somport fue cerrado a principios de septiembre de 2024 debido al impacto de una dana, numerosas empresas y comercios sufrieron una caída del 90 % en sus ingresos. Además, muchos trabajadores se vieron forzados a trasladar su residencia al otro lado de la frontera para poder mantener su empleo (Cadena SER, 2024).

En la misma línea, la interrupción del transporte de manera prolongada podría afectar las cadenas de suministro y, por lo tanto, podría generar afectaciones al comercio y la logística interna. Esto, a su vez, si se prolongase en el tiempo, y al igual que la escasez de productos provenientes del exterior, podría generar un incremento de precios.

Por otro lado, y ante situaciones de emergencia, también podría ocurrir que se interrumpiese o se limitase el transporte por carretera para la asistencia a poblaciones afectadas. De hecho, debido al temporal por la dana en Valencia, se ha limitado el tráfico vía camiones, exceptuando aquellos que se encuentren operando en productos de primera necesidad (DGT, 2024).

Ficha 3. Resumen del riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Limitada	Sustancial	Sustancial[10]
	En algunos sitios de España, tras el paso de la dana, numerosas empresas y comercios sufrieron una caída del 90 % en sus ingresos debido a la interrupción de las carreteras (CADENA SER, 2023)[11]. Además, los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, y sin adoptar medidas de adaptación, representarían un 0,04 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). Sin embargo, como los daños mencionados corresponden a inundaciones en general y no al impacto de este riesgo en particular, se ha considerado una categoría menor (limitada).	Un estudio de CEDEX (2021) prevé un aumento de la torrencialidad para el periodo 2011-2040, lo que incrementaría, a su vez, las inundaciones fluviales y pluviales. Además, los daños anuales esperados para España, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 1,5 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020). Sin embargo, se considera una categoría menor (limitada) porque estos daños incluyen mayor cantidad de daños que los correspondientes a la afección a la circulación terrestre por carretera.	Los daños anuales esperados para España, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 1,5 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020).	A finales de siglo (2080s), las olas de calor se estiman como el principal peligro, responsables del 92 % de los daños totales por la aparición de roderas en pavimentos (Forzieri *et al.*, 2018). En un escenario RCP 8.5, se proyecta un aumento de 15–50 días respecto al promedio 1971–2000 en la España peninsular. Bajo condiciones socioeconómicas actuales, sin medidas de adaptación y con un calentamiento de 3 °C, los daños anuales esperados representarían el 0,05 % del PIB (Dottori *et al.*, 2020).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[10] Por tratarse de un subconjunto de daños de los daños correspondientes al riesgo clave anterior (RC10.2) se ha considerado una categoría menor de severidad de impacto.

[11] Identificado en diferentes medios y piezas de prensa (p. ej., Cadena SER, 2023).

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Medio ◆◆ · Baja · Alto	Medio ◆◆ · Media · Medio	Medio ◆◆ · Media · Medio	Medio ◆◆ · Media · Medio
	Se trata de una publicación sin revisión (calidad baja) pero la cobertura territorial de la referencia de impacto es alta.	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Deslizamientos de tierra. • Sequías. • Olas de calor. • Incendios. • Inundaciones fluviales, pluviales y costeras. • Fuertes tormentas de viento. • Aludes de nieve.	• Operatividad de carreteras. • Comunidades.	• Capacidad financiera de algunos agentes. • Número de personas dependientes del medio de transporte en cuestión. • Condiciones de diseño. • Limitaciones de la administración. • Demanda de la infraestructura. • Importantes actividades económicas con alta dependencia del transporte.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El 54 % de las exportaciones y el 80 % de las importaciones (en unidades monetarias) dependen del transporte por carretera en España, por lo que los daños a las infraestructuras podrían tener repercusiones importantes en el comercio internacional (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022).
Territoriales	• Tal y como se describe en el "Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos", en la actualidad las infraestructuras de la red de carreteras se ven expuestas a múltiples impactos, que pueden dar lugar a afecciones en la operatividad. • El informe de CEDEX (2018) además, recoge afecciones en las condiciones de vialidad por peligros como incendios, fuertes nevadas y lluvias intensas. En el caso de nieves e incendios, la red de carreteras se ha visto ya afectada en un 13 % y 17 % respectivamente, mientras que las lluvias intensas han afectado también -aunque en menor grado- debido a la insuficiencia de desagüe de la superficie de la calzada. • A nivel local, el estudio de Naturklima (2020) también recoge afecciones históricas a la circulación viaria por nevadas, heladas, desprendimientos, inundaciones (costeras, fluviales y pluviales) y vientos extremos en Guipúzcoa.
Sociales	Grupos sociales que se verán más afectados: • Personas que habitan en zonas más despobladas, menos prioritarias a la hora de reparar los daños (EEA, 2024). • Pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios que puedan sufrir interrupción en su producción por cese de suministros que provienen por vía terrestre. • Personas que habitan en zonas donde coexisten varios peligros de manera simultánea (proximidad a ríos y a línea de costa), o donde las infraestructuras viarias tienen características físicas que las hacen más vulnerables (p. ej.por mantenimiento insuficiente de las infraestructuras, antigüedad de la infraestructura).
Maladaptación	• La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático podría exacerbar los daños durante los eventos extremos. • La reconstrucción de las infraestructuras en los mismos emplazamientos donde previamente se han producido daños significativos ignorando las dinámicas cambiantes del clima. Al no incorporar criterios de reubicación estratégica ni evaluaciones de riesgo actualizadas, se perpetúa la vulnerabilidad del territorio y de las comunidades que lo habitan.
Género	Las empleadas en el mercado informal en Europa son más numerosas que los hombres en la misma situación (International Labour Organization, 2023). Esta condición de vulnerabilidad podría agravarse debido a que la dificultad de desplazamiento hacia su lugar de trabajo puede implicar una pérdida de ingresos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	No se han encontrado umbrales a partir de los cuales se incrementen las afecciones a la circulación terrestre por carretera.
Lock-in/Bloqueo	• Infraestructuras construidas bajo supuestos climáticos obsoletos pueden no ser capaces de soportar fenómenos más intensos o frecuentes, como tormentas severas o inundaciones. • Muchas redes de carreteras están diseñadas con puntos únicos de conexión (puentes, túneles o carreteras principales) que, si se ven afectados, paralizan la red entera. • Ausencia de rutas alternativas o redundantes para desviar el tráfico durante un evento extremo.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo, la UE, en sus **Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027** (Diario Oficial de la UE, 2021), en la sección de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), sugiere evaluar, por un lado, las infraestructuras en riesgo debido a su ubicación en zonas inundables y, por otro, cuáles son los activos de infraestructura clave (por ejemplo, segmentos e intersecciones de carreteras, infraestructuras de suministro de agua, infraestructuras energéticas, zonas industriales y grandes vertederos) en riesgo debido a su ubicación en áreas que podrían inundarse como consecuencia del aumento del nivel del mar o de que están sometidas a la erosión costera. A nivel nacional, destaca la siguiente normativa, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias líneas de trabajo que se vinculan con la gestión del presente riesgo: Sistemas de observación, seguimiento y vigilancia de la operatividad de las infraestructuras (Línea de acción 11.1); Integración de los efectos del cambio climático en la normativa para el cálculo y diseño de las infraestructuras del transporte (Línea de acción 11.2); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte existentes (Línea de acción 11.3); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte nuevas (Línea de acción 11.4); Apoyo y refuerzo de la adaptación al cambio climático en las administraciones públicas y otros sectores y agentes (Línea de acción 11.5). • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** especifica La adecuación de las nuevas instrucciones de cálculo y diseño de la edificación y las infraestructuras de transporte a los efectos derivados del cambio climático, así como la adaptación progresiva de las ya aprobadas [...]. Adicionalmente, en los últimos años se han desarrollado múltiples acciones con el fin de reducir este tipo de riesgo. • **Sistema de avisos meteorológicos** (con niveles amarillo, naranja y rojo) y que se difunden a través del Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (AEMET, 2025). Son avisos sobre lluvias, nevadas, vientos, tormentas, temperaturas máximas y mínimas, fenómenos costeros, etc., además de los avisos especiales por olas de calor y frio, entre otros (AEMET, 2025). • Desde el **planificador de rutas de AEMET** (AEMET, s. f.) se establecen ciertos umbrales para una serie de variables meteorológicas (temperatura, viento, precipitación y nieve) para las cuales se define el riesgo para la conducción.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. • Comunidades autónomas. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Sector privado. • Ayuntamientos: desarrollan Planes Locales de Acción Climática.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los riesgos en cascada identificados. • Incremento de la seguridad vial. • Menores interrupciones de transporte. • Fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante emergencias. • Continuidad de las actividades económicas.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Las mejoras en la infraestructura de transporte por carreteras podrían incentivar el uso del coche e impactar negativamente en la descarbonización.
Déficits de información	• La información relativa al impacto sobre la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • La información sistematizada sobre interrupción de carreteras por tipo de evento extremo no existe. • No hay disponibles datos de impactos económicos para este riesgo.
Recomendaciones de priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, no obstante, hay que valorar y en su caso programar medidas para afrontar este riesgo. Se requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. El riesgo se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.4. RC10.4. Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos

El **riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos** (CEDEX, 2018) se refiere a la paralización o alteración del servicio de transporte ferroviario debido a eventos meteorológicos extremos más frecuentes e intensos como consecuencia del cambio climático (Jordà *et al.*, 2024).

La **Figura 6** ilustra la cadena de impacto de este riesgo clave, mostrando sus componentes (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), así como los impactos resultantes de estos elementos. El riesgo clave se encuentra en el centro del esquema, y con él interactúan los peligros climáticos y otros factores que lo amplifican. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

Este riesgo de interrupciones del servicio ferroviario por eventos extremos podría ser un riesgo en cascada del RR10.8, relacionado con los daños en las infraestructuras de la red ferroviaria debido a eventos extremos. Dichos daños pueden manifestarse de diversas formas, como incendios en los márgenes de la vía, afectaciones en el sistema carril-traviesa-sujeción por temperaturas extremas, interrupciones físicas por nieve o hielo (CEDEX, 2018), bloqueos en las vías debido a la caída de árboles provocada por fuertes vientos e interrupciones por inundaciones (*La Voz Digital*, 2025).

En términos de impacto, la mayoría de las incidencias registradas (93 %) resultan en retrasos en el servicio ferroviario, que oscilan entre 10 y 50 minutos en trenes de pasajeros y alrededor de 50 minutos en trenes de mercancías (Castañares, 2018). Esta problemática adquiere especial relevancia considerando el aumento del número de viajeros en la última década, alcanzando los 33,19 millones en 2022 (AESA, 2024). Sin embargo, cabe destacar en este punto que hasta la fecha las afecciones en la población relativas a daños en las infraestructuras ferroviarias han sido limitadas.

Los peligros que provocan interrupciones en la red ferroviaria no solo son significativos en la actualidad, sino que, en la mayoría de los casos, se prevé que aumenten en el futuro. Un ejemplo claro son los incendios forestales, cuyo riesgo se intensificará con el cambio climático. Para un calentamiento global de 1,5 °C, se espera un incremento en el número de días anuales con peligro alto o extremo de incendios (de Rigo *et al.,* 2017; Costa, 2020). A este peligro se adiciona la influencia del tipo y la cantidad de material combustible cercano a las vías. La presencia de vegetación en las inmediaciones de las infraestructuras ferroviarias incrementa significativamente el riesgo de incendios, especialmente durante periodos de olas de calor y sequías prolongadas. Estas condiciones pueden favorecer la propagación rápida del fuego, comprometiendo la seguridad y provocando interrupciones prolongadas del servicio.

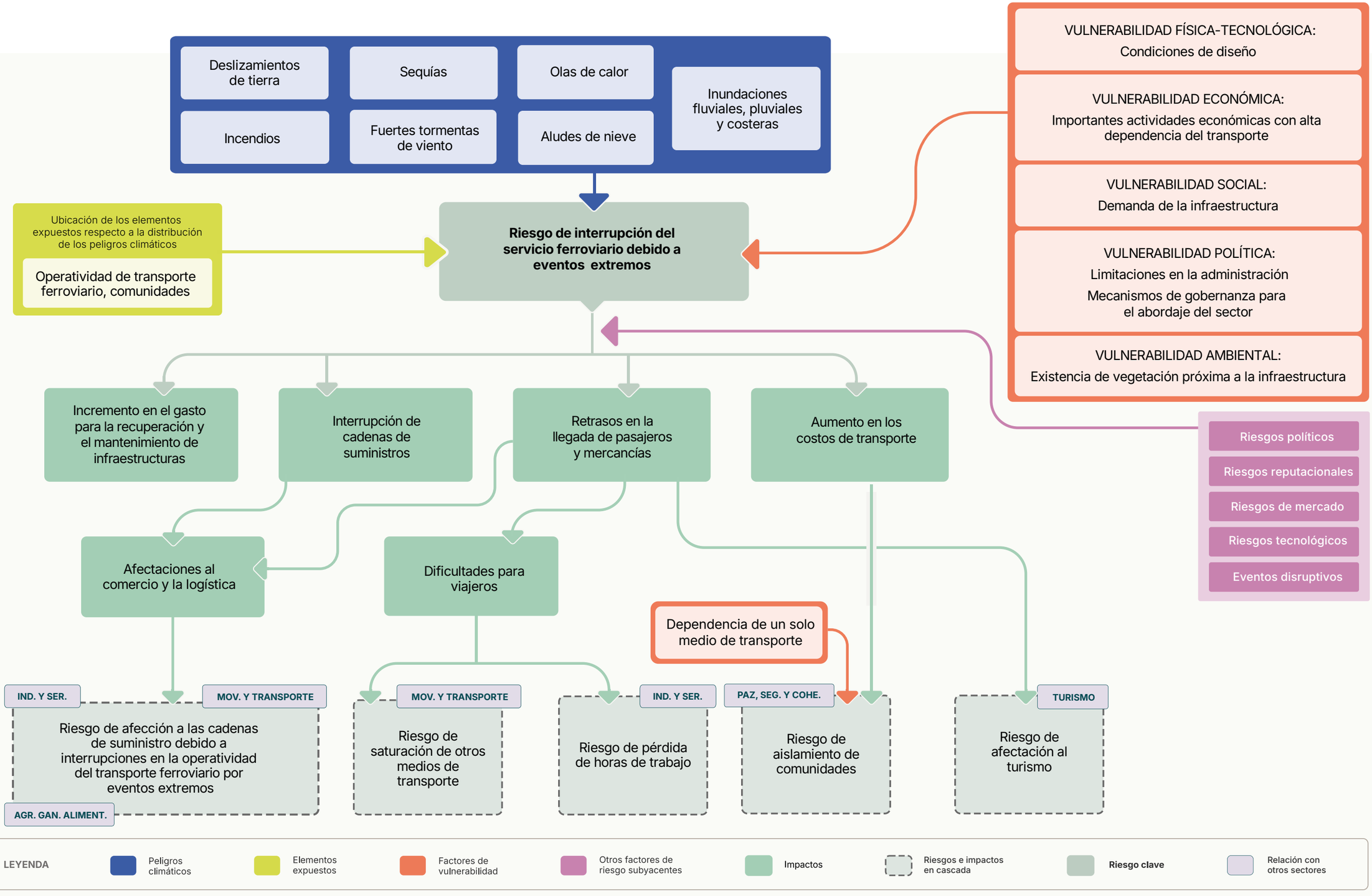


Figura 6. Cadena de impacto del riesgo clave “Interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos”.

Por otro lado, las precipitaciones torrenciales aumentarán a corto plazo (2011-2040), lo que incrementará el riesgo de inundaciones tanto fluviales como pluviales, y, por lo tanto, deslizamientos de tierra (EEA, 2024).

En contraste, los estudios actuales no prevén cambios significativos en la frecuencia de los fuertes vientos ni en la incidencia de ciclogénesis explosivas a corto, medio o largo plazo (UCMG, 2018). Sin embargo, otro factor de riesgo clave es la proximidad de gran parte de la red ferroviaria a la costa. Según el informe PIMA Adapta-Costas de Canarias (Gobierno de Canarias, 2021), para 2050 se espera un aumento del nivel del mar de 26 cm, lo que incrementará la probabilidad de inundaciones en estas infraestructuras.

En cuanto a las temperaturas, se proyecta un aumento progresivo a lo largo del siglo. En un escenario de altas emisiones, el incremento de temperatura máxima podría alcanzar los 4,3 °C para el período 2071-2100 (Visor de Escenarios de Cambio Climático de AdapteCCa). Como consecuencia, se prevé un aumento de las temperaturas extremas, con olas de calor más frecuentes e intensas, lo que representará un desafío adicional para la infraestructura ferroviaria y su operatividad.

Las distintas líneas de transporte presentan características estructurales variadas, lo que influye en la frecuencia e intensidad con la que los eventos extremos las afectan y, en consecuencia, en la variabilidad de las interrupciones según el tramo. Por ejemplo, en el caso de lluvias intensas, la red convencional es más vulnerable al cambio climático, ya que sus criterios de diseño no cumplen los mismos estándares que los de la red de alta velocidad (Castañares, 2018). No obstante, las líneas de alta velocidad también han sufrido interrupciones, como ocurrió durante la dana de septiembre de 2023 y la de octubre de 2024.

En cuanto a los vientos extremos, la red de alta velocidad destaca por la incorporación de pantallas acústicas y de protección, así como por la robustez de la catenaria, los sistemas de seguridad y las comunicaciones (Castañares, 2018). Del mismo modo, frente a temperaturas elevadas, las líneas de alta velocidad cuentan con un diseño más resistente para el carril y sus sujeciones (Castañares, 2018).

Como resultado, si se analiza el número de incidencias registradas, la red convencional suele verse más afectada que la de alta velocidad, lo que refleja una mayor vulnerabilidad de la primera frente a los efectos del cambio climático.

La interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos puede desencadenar impactos en cascada que afectan a múltiples sectores y a la economía en general. Uno de los principales efectos es la interrupción de las cadenas de suministro, lo que retrasa la llegada de mercancías, genera desabastecimiento y afecta a sectores estratégicos como el comercio y la logística. Además, la reducción en la operatividad del ferrocarril incrementa los costos de transporte, ya que las empresas deben recurrir a alternativas más caras o menos eficientes.

Asimismo, la recuperación y el mantenimiento de las infraestructuras dañadas requieren inversiones significativas. Un ejemplo reciente es la asignación de 184,6 millones de euros por parte del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible para la reparación de las infraestructuras ferroviarias en Valencia tras la dana de octubre de 2024 (La Moncloa, 2024).

Además, la interrupción de los servicios ferroviarios puede generar la saturación de otros medios de transporte, como autobuses, lo que aumenta el tiempo de viaje y el riesgo de pérdida de horas de trabajo. En zonas donde el ferrocarril es la principal vía de conexión, el impacto es aún mayor, ya que algunas comunidades pueden quedar temporalmente aisladas. Por otro lado, el turismo, un sector altamente dependiente del transporte ferroviario en muchas regiones, también se ve afectado, lo que repercute en la economía local y en la oferta de servicios.

Ficha 4. Resumen del riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Limitada	Sustancial	Sustancial
	En España, los retrasos estimados anuales en el servicio ferroviario relacionados con deformaciones de las vías por pandeo para el período 1990-2010 son de 0.019 % y de 0.023 % del tiempo de viaje en condiciones de tráfico óptimas (flujo libre) para el transporte de mercancías y de pasajeros, respectivamente (Nemry & Demirel, 2012). Como el impacto en tiempo de viaje es considerablemente bajo se ha considerado una severidad limitada.	Si bien no se cuenta con estimaciones de impacto monetario o en retrasos temporales, se prevé que la temperatura máxima, para un escenario de altas emisiones (RCP 8.5) se incremente hacia el 2040 unos 2 °C (AEMET, 2017), por lo que se infiere que las interrupciones por pandeo podrían ser mayores. Sin embargo, considerando que se están tomando medidas de adaptación, se considera la misma categoría de severidad que en el escenario anterior.	Si bien no se cuenta con estimaciones de impacto monetario, se prevé que todas las variables de temperatura aumenten en el escenario SSP5-8.5, principalmente en verano, con incrementos de 2-3 °C a mediados de siglo (capítulo de variables climáticas). Además, habrá condiciones más propicias para incendios forestales y mayor torrencialidad de precipitaciones (capítulo de variables climáticas), haciendo que sea más probable una interrupción del servicio ferroviario. Por estos motivos se considera una severidad sustancial.	Para la España peninsular, considerando todas las proyecciones generadas para el periodo 2081-2100, las variaciones en la escala anual tenderían a estar comprendidas entre +4.2 °C y +6.4 °C, bajo el escenario de mayores emisiones, RCP8.5 (capítulo de variables climáticas). Esto podría multiplicar las interrupciones por pandeo mencionadas en el escenario actual, por lo que se considera una severidad sustancial.
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Medio ◆◆ · Media · Bajo	Medio ◆◆ · Media · Medio	Medio ◆◆ · Media · Medio	Medio ◆◆ · Media · Medio
	Se trata de una publicación oficial (calidad media) y hay una sola base de datos (consenso bajo).	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.	Son varias las fuentes de organismos oficiales que apuntan a un aumento de los riesgos debidos a diferentes peligros.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Deslizamientos de tierra. • Sequías. • Olas de calor. • Incendios. • Inundaciones fluviales, pluviales y costeras. • Fuertes tormentas de viento. • Aludes de nieve.	• Operatividad del transporte ferroviario. • Comunidades.	• Existencia de vegetación próxima a la infraestructura. • Demanda de la infraestructura. • Mecanismos de gobernanza para el abordaje del sector. • Limitaciones de la administración. • Importantes actividades económicas con alta dependencia del transporte.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El 3 % de las exportaciones y el 0,4 % de las importaciones (en unidades monetarias) dependen del transporte por ferrocarril en España, por lo que los daños a las infraestructuras podrían tener algunas repercusiones en el comercio internacional (Observatorio del transporte y la logística en España, 2022). Además, el transporte de pasajeros por vía ferroviaria ha transportado medio millón de personas hacia el exterior y ha hecho ingresar el mismo número desde destinos internacionales (INE, 2024). De hecho, de ese total, 340.000 son turistas (Statista Research Department, 2024), por lo que el riesgo podría afectar los ingresos del sector turismo.
Territoriales	• La red de ferrocarriles sufre ya afectaciones en: más del 25 % por incendios en el margen de la vía; más del 10 % por nieve; más del 8 % por hielo; más del 20 % por viento muy intenso; y casi el 15 % por afectaciones térmicas (CEDEX, 2018). • Si se tiene en cuenta el número de incidencias, estas, por lo general, son más numerosas en la red convencional, reflejando en este sentido una mayor vulnerabilidad en este tipo de red. Esto puede deberse a que sus criterios de diseño no responden a las mismas exigencias que las que actualmente cumplen las de alta velocidad respecto a las adaptaciones frente a las precipitaciones y los vientos extremos (Castañares, 2018).
Sociales	Grupos sociales que se verán potencialmente más afectados: • Residentes en poblaciones pequeñas, dado que sus infraestructuras dañadas podrían tener menor prioridad a la hora de su reparación (EEA, 2024). • Viajeros con menores ingresos, que, al interrumpirse el servicio, podrían no tener capacidad de acceder a otro medio de transporte como alternativa.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	• La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático podría exacerbar los daños por eventos extremos. • La interrupción del transporte ferroviario podría desviar viajeros hacia el transporte privado, lo cual podría producir congestión en las carreteras y, en los casos de eventos extremos, podría dificultar las operaciones de emergencia y evacuación.
Género	Las empleadas en el mercado informal en Europa son más numerosas que los hombres en la misma situación (International Labour Organization, 2023). Esta condición de vulnerabilidad podría agravarse debido a que la dificultad de desplazamiento hacia su lugar de trabajo puede implicar una pérdida de ingresos.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	En el Plan de Contingencias. Manual de Prevención y Gestión de Incidencias de Adif existen 3 fichas con niveles de afectación y condiciones de circulación para 3 eventos: lluvia, viento y nieve.
Lock-in/Bloqueo	Infraestructuras construidas bajo supuestos climáticos obsoletos pueden no ser capaces de soportar fenómenos más intensos o frecuentes, como tormentas severas o inundaciones.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• A nivel europeo, la UE, en sus **Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027** (Diario Oficial de la UE, 2021) en la sección de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE), sugiere evaluar, por un lado, las infraestructuras en riesgo debido a su ubicación en zonas inundables y, por otro, cuáles son los activos de infraestructura clave en riesgo debido a su ubicación en áreas que podrían inundarse como consecuencia del aumento del nivel del mar o de que están sometidas a la erosión costera. A nivel nacional, destaca la siguiente normativa, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias líneas de trabajo que se vinculan con la gestión del presente riesgo: Sistemas de observación, seguimiento y vigilancia de la operatividad de las infraestructuras (Línea de acción 11.1); Integración de los efectos del cambio climático en la normativa para el cálculo y diseño de las infraestructuras del transporte (Línea de acción 11.2); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte existentes (Línea de acción 11.3); Análisis de los riesgos del cambio climático en la gestión y mantenimiento de las infraestructuras del transporte nuevas (Línea de acción 11.4); Apoyo y refuerzo de la adaptación al cambio climático en las administraciones públicas y otros sectores y agentes (Línea de acción 11.5). • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética** de España especifica La adecuación de las nuevas instrucciones de cálculo y diseño de la edificación y las infraestructuras de transporte a los efectos derivados del cambio climático, así como la adaptación progresiva de las ya aprobadas [...].

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Además, Adif también dispone de medidas que actúan sobre la capacidad de adaptarse. Entre ellas, se encuentran: • Plan de Contingencias. Manual de Prevención y Gestión de Incidencias. Ficha 2 "Actuaciones frente a temporales de lluvia", Ficha 3 "Actuaciones frente a temporales de viento" y Ficha 4 "Actuaciones frente a temporales de nieve". • Plan Director de medidas preventivas verano. • Plan Director de medidas preventivas invierno. • Norma interna NAG 4-0-0.0 "Metodología para el análisis de la vulnerabilidad, riesgo y adaptación a los efectos del cambio climático". • Acciones concretas para garantizar la seguridad del servicio en situaciones de eventos extremos. Por ejemplo, para el caso de Renfe Viajeros, se reciben las predicciones meteorológicas de la AEMET para las próximas 24 horas sobre cada 5 km de red en intervalos de 6 h.; con dicha información se decide cómo aplicar el Plan de Contingencias que se envía a los Centros de Gestión de Viajeros para la adopción de medidas como: ▪ En caso de fuertes nevadas: cambios de flota, reducciones de velocidad, aplicación de sal, incremento de personal. ▪ Uso de pintura blanca para vías férreas para evitar sobrecalentamientos (Adif, 2021). ▪ Utilización de apoyos para los tableros de los viaductos que se dilatan y contraen longitudinalmente en función de la oscilación de temperaturas. Los apoyos permiten que los viaductos se sostengan sobre pilas y estribos (Adif, 2023c). ▪ Fortalecimiento del control de detectores de temperaturas (Adif, 2023b). ▪ Fortalecimiento del control de detectores de vientos laterales que además se utilizan como base para realizar una previsión a Medio plazo de las limitaciones de velocidad que deben ser impuestas en la circulación de los trenes.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Comunidades autónomas. • Adif/Adif Alta Velocidad. • Operadores ferroviarios (Renfe, Avanza Tren, Alsa Ferrocarril, etc.) (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, s. f.). • Ayuntamientos. • Sindicatos. • ONGs.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los costos de mantenimiento. • Reducción de pérdidas y daños. • Reducción de los riesgos en cascada identificados. • Incremento de la seguridad ferroviaria. • Incremento de la durabilidad de las infraestructuras. • Menores interrupciones del servicio ferroviario.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Si se construyeran nuevas líneas ferroviarias para la diversificación de caminos en caso de eventos extremos, el desmonte de bosques o la fragmentación de ecosistemas para construir podría liberar carbono almacenado en los suelos y reducir la capacidad de captación de CO_2. • Las mejoras en el transporte ferroviario pueden incentivar a la población al uso de este medio en detrimento del coche privado y contribuir así a la reducción de emisiones.
Déficits de información	• La información relativa al impacto sobre la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • No hay datos de impacto económico para este riesgo.
Recomendaciones de priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, no obstante, hay que valorar y en su caso programar medidas para afrontar este riesgo. Se requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. El riesgo se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

A continuación, se esbozan los grafos de cada riesgo clave (ver de la **Figura 7** a la **Figura 10**). El primero de los riesgos clave, el *Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos,* es el que tiene mayor grado de entrada y de salida de los riesgos clave del ámbito sectorial de la Movilidad y el transporte. Por un lado, se ve afectado por riesgos del ámbito sectorial de Costas y medio marino y de los otros tres de Movilidad y transporte (en la **Figura 7**, aquellos que comienzan con "RC6" y "RC10", respectivamente), y por otro, afecta a riesgos de Ciudad, urbanismo y edificación ("RC7"), Movilidad y transporte ("RC10"), Sistema financiero y actividad Aseguradora ("RC13"), Industria y servicios ("RC11") y Paz, seguridad y cohesión social ("RC14").

El *Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos* se ve afectado solo por el "Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival" (RC2.2) del sector Agua y recursos Hídricos, pero afecta a seis riesgos clave, pertenecientes a los ámbitos sectoriales de Ciudad, urbanismo y edificación ("RC7"); Transporte y movilidad ("RC10"); Sistema financiero y actividad aseguradora ("RC13"); y Paz, seguridad y cohesión social ("RC14")(**Figura 8**).

El *Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos* se ve afectado por riesgos del propio ámbito sectorial ("RC10"), así como también por riesgos de Agua y recursos hídricos ("RC2"); y Ciudad, urbanismo y edificación ("RC7"). Por otro lado, afecta a riesgos de Ciudad, urbanismo y edificación ("RC7"); Movilidad y transporte ("RC10") y Paz, seguridad y cohesión social ("RC14") (**Figura 9**).

El *Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos* se ve afectado por un riesgo del propio ámbito sectorial, así como también un riesgo de Agua y recursos hídricos ("RC2"); y uno de Ciudad, urbanismo y edificación ("RC7"). Por otro lado, afecta a un riesgo clave de Movilidad y transporte ("RC11"); y uno de Paz, seguridad y cohesión social ("RC14") (**Figura 10**).

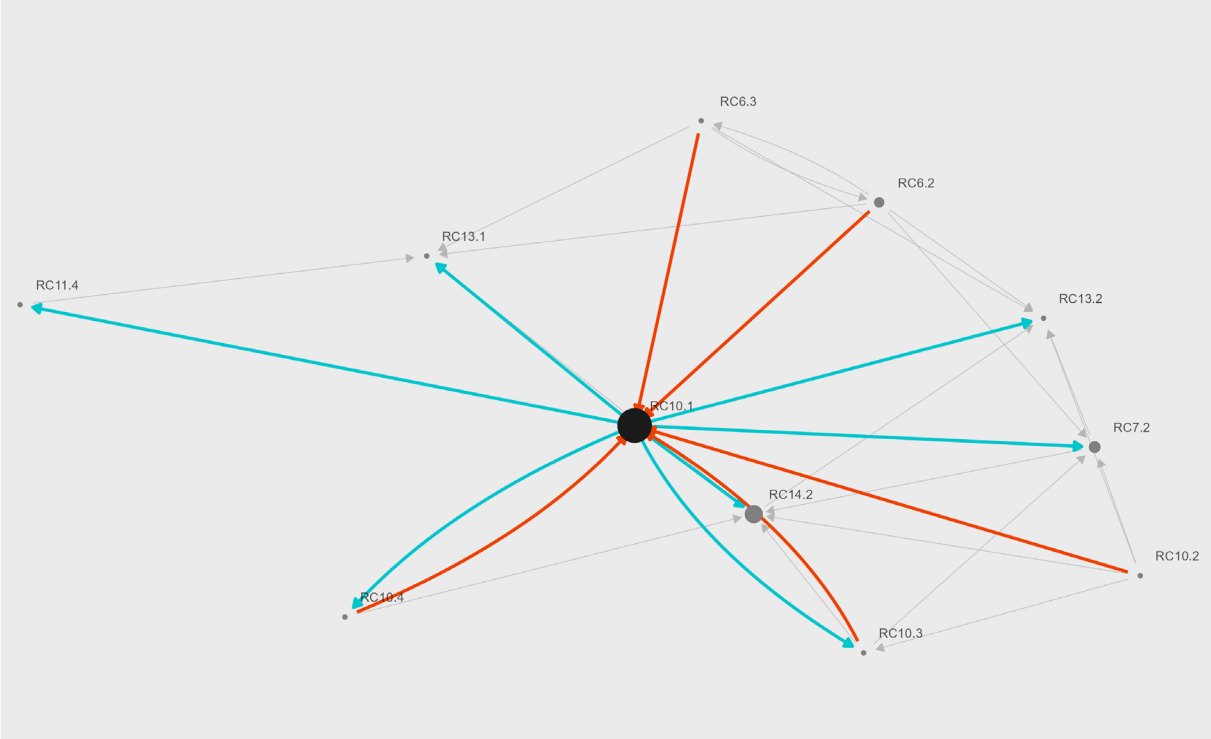


Figura 7. Grafo del Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

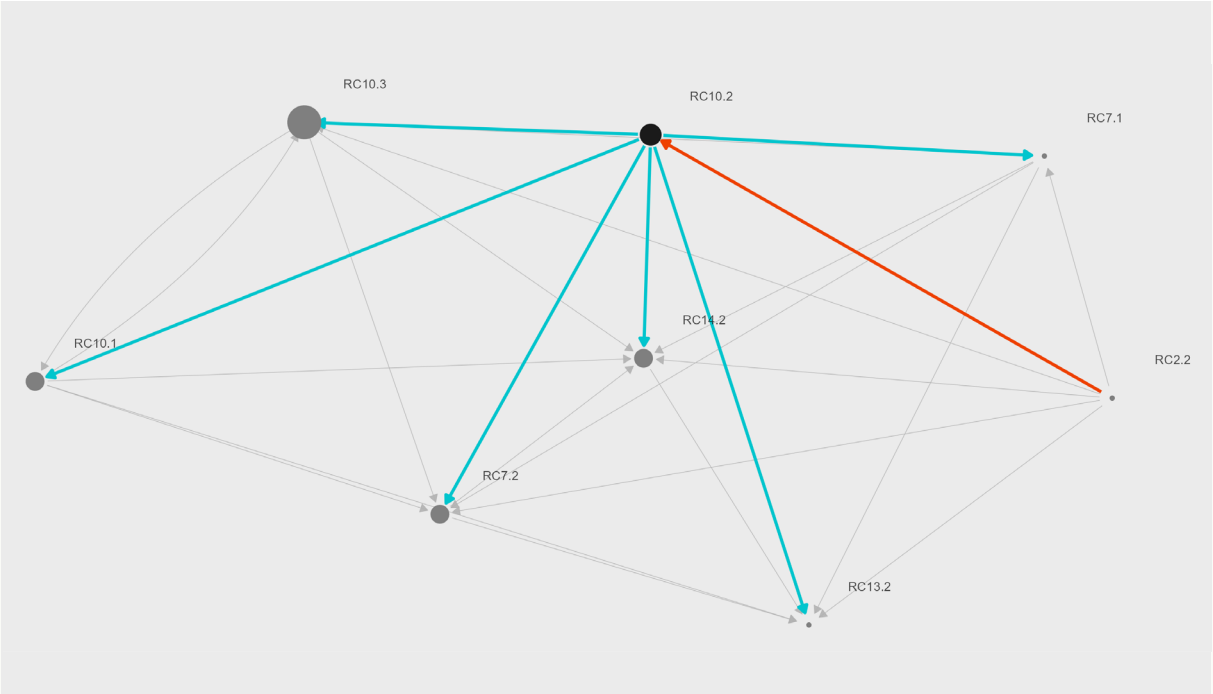


Figura 8. Grafo del Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

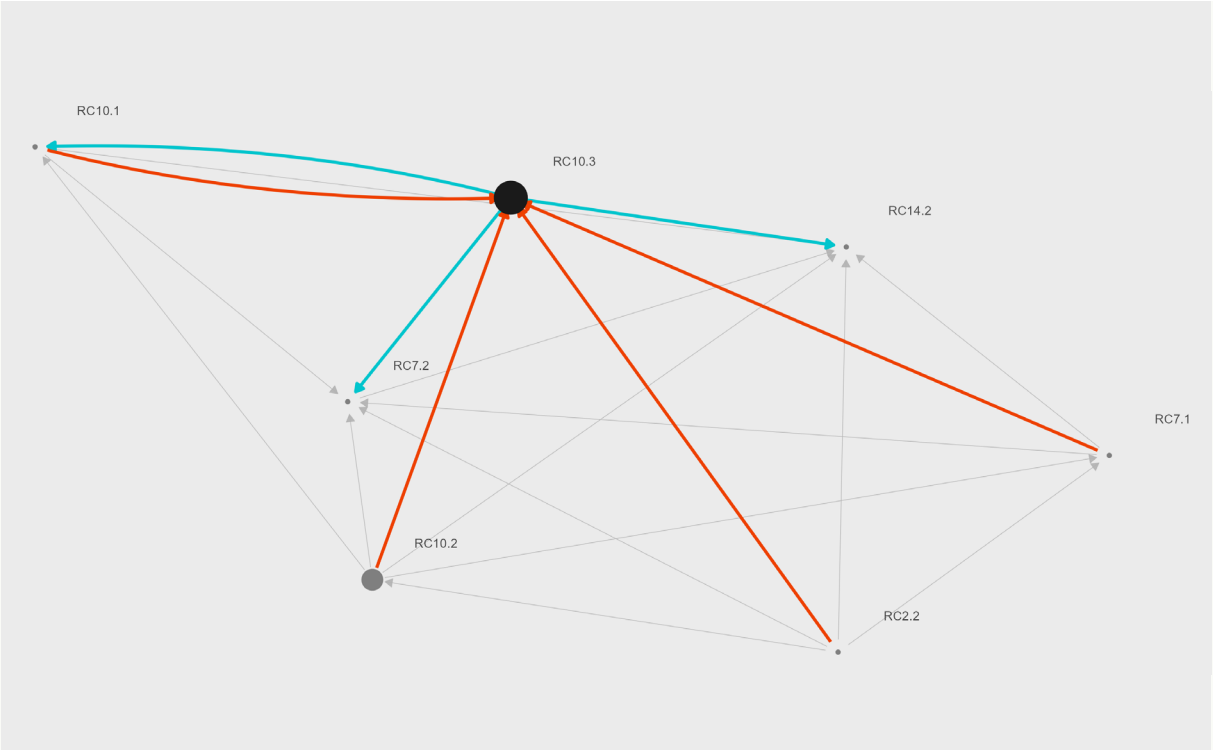


Figura 9. Grafo del Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

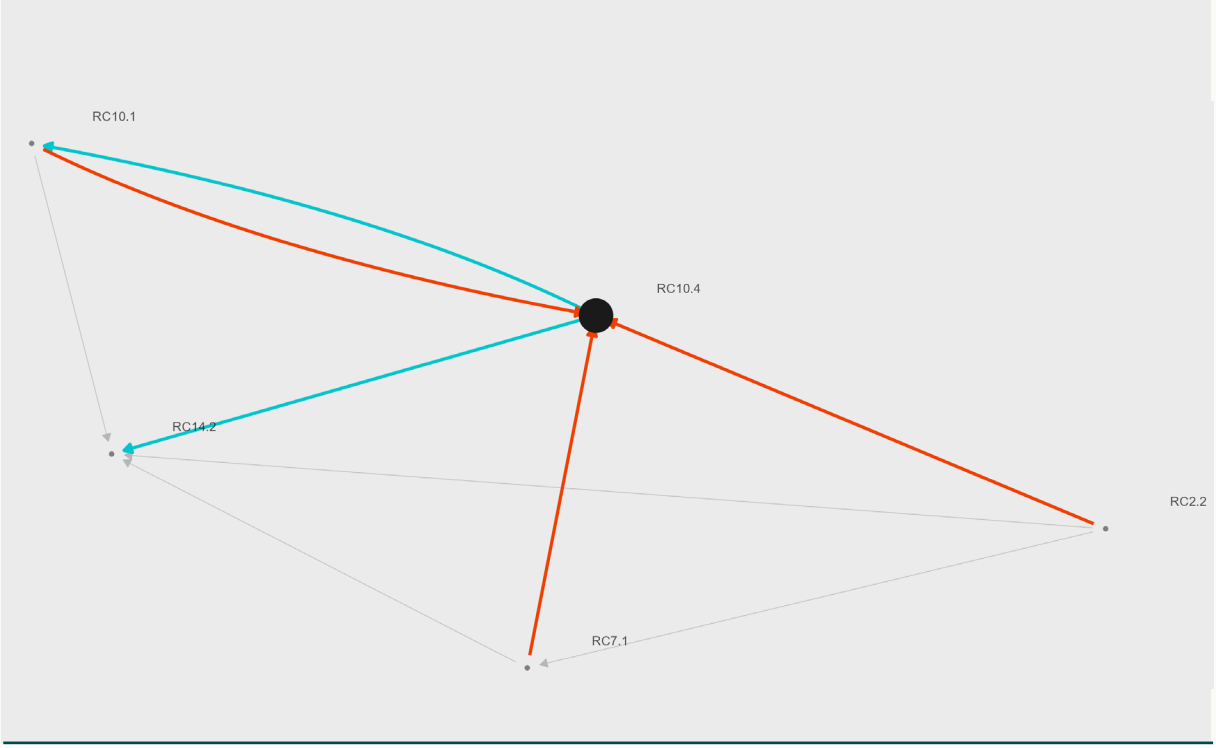


Figura 10. Grafo del Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

Las métricas de estos riesgos clave se resumen en la Tabla 2. Es importante destacar que las categorías utilizadas fueron definidas a partir de dos criterios distintos.

Por un lado, los grados de entrada y salida se clasificaron en dos: de 0 a 10 se considera “bajo”, y mayor o igual a 10 se considera “alto”.

Por otro lado, las métricas de cercanía e intermediación se agruparon aplicando umbrales fijos, por lo que los valores se distribuyen de la siguiente manera:

- **Intermediación**:
  > Baja: 0 – 50
  > Media: 50 – 200
  > Alta: >200

- **Cercanía**:
  > Baja: 0 – 0,005
  > Media: 0,0051 – 0,009
  > Alta: >0,0091

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial de la Movilidad y el transporte.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC10.1 Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Medio –
RC10.2 Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras (taludes, calzada, firmes de carretera y puentes) debido a eventos extremos	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Medio –
RC10.3 Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Medio –
RC10.4 Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Medio –

6. Caso de estudio

El caso de estudio Plan de Adaptación al Cambio Climático de la red de Carreteras del Estado ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de Movilidad y transporte. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Plan de Adaptación al Cambio Climático de la red de Carreteras del Estado

Enlaces: no se cuenta con enlaces a la fecha de publicación de este capítulo porque el Plan no se encuentra publicado

Objeto

El Plan de Adaptación al Cambio Climático (PACC) de la Red de Carreteras del Estado (RCE) tiene como objetivo último constituir el documento de referencia que oriente la actuación de la Dirección General de Carreteras (DGC) en materia de adaptación al cambio climático y mejora de la resiliencia de la red.

Descripción:

El Plan se concibe como una hoja de ruta que permita diagnosticar los principales impactos derivados del cambio climático, mediante una evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de la red viaria, e identificar, proponer y priorizar las medidas de adaptación necesarias para minimizar sus efectos. El documento ofrece una visión estratégica y operativa para apoyar la toma de decisiones que refuercen la capacidad de la red viaria nacional para anticiparse, resistir y recuperarse de los impactos del cambio climático, garantizando la continuidad del servicio y la seguridad de los usuarios.

La metodología utilizada para este análisis incluye una primera etapa de Evaluación de la Vulnerabilidad de la Red frente a las siete amenazas climáticas que se ha identificado que generan más incidencias sobre la infraestructura y servicios viarios (lluvia intensa, incendios forestales, temperaturas

Ámbito Territorial:

- De la totalidad de la Red de Carreteras del Estado (RCE), con sus 26.489 kilómetros, el Plan va dirigido únicamente a las carreteras gestionadas directamente por la Dirección General de Carreteras, quedando fuera de su alcance las carreteras gestionadas mediante concesiones, los tramos gestionados por SEITT (Sociedad Estatal de Infraestructuras del Transporte Terrestre) y las autopistas dependientes de la Subdelegación del Gobierno en las Sociedades Concesionarias de Autopistas Nacionales de Peaje. Según el inventario de referencia, la RCE considerada para la evaluación está compuesta por un total de 6.783 unidades mínimas de análisis geolocalizadas de la RCE.

Sector(es)/subsector:

- Transporte por carretera.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

altas, heladas, viento intenso, nevadas y embates de mar). Esta evaluación de la vulnerabilidad se realiza en base a la exposición (grado en que un activo puede verse afectado por las distintas amenazas potenciales según su ubicación geográfica) y la sensibilidad (relacionada con aquellas características intrínsecas de un activo o servicio que influyen en cómo se ve afectado ante un determinado impacto). Esta evaluación se hace para 3 horizontes temporales (cercano, medio y lejano -final de siglo-), y para diferentes escenarios que impliquen un mayor o menor número de emisiones de gases a la atmósfera.

Una vez identificados los activos que se han considerado con vulnerabilidad alta, se pasa a una segunda etapa de Evaluación del Riesgo de éstos, en la que se valora la probabilidad de que las amenazas climáticas se materialicen y la severidad que tendrían sobre los tramos de la Red en caso de ocurrir.

Finalmente, se define una última Etapa para los riesgos catalogados como "altos y "muy altos", en la que se plantea una propuesta de medidas de adaptación con el objetivo de minimizar los mismos hasta un nivel aceptable.

Estas medidas se definirán en consideración al Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 y su Programa de Trabajo 2021-2025.

Aspectos destacables:

La definición de las medidas de adaptación que mitiguen los efectos de las amenazas que provocarían un riesgo alto o muy alto tanto en la infraestructura como en el servicio se plantean en el marco de un Plan de acción que las priorice, monitorice el seguimiento de su implantación (con los correspondientes indicadores y responsables de ese seguimiento), así como un plan de comunicación de los resultados tanto a la población en general, como a otras Administraciones.

Es la primera vez que se realiza en España un trabajo en este sector a esta escala.

Por otro lado, algunos aspectos transversales al Plan son:

- Vulnerabilidad territorial y social.
- Integración del enfoque de género.
- Movilidad y corredores militares prioritarios.

Por último, cabe mencionar que los factores determinados en el PACC de la RCE son totalmente escalables y replicables, ya que la exposición y la probabilidad se han calculado a nivel de todo el territorio peninsular. Por otro lado, tanto la sensibilidad como la gravedad se han determinado para los activos y tramos estudiados en cuestión, adaptando la metodología a la casuística de estos, pero la forma de hacerlo se podría aplicar a otra tipología de elementos.

Entidad(es) del proyecto:

El promotor es la Subdirección General de Sostenibilidad e Innovación de la Dirección General de Carreteras, coordinador de los trabajos, que ha velado por la coherencia técnica del conjunto, su alineación con las prioridades nacionales y su plena integración en el marco estratégico del Ministerio. La elaboración del Plan, así como el conjunto de trabajos técnicos asociados ha sido realizada por la empresa INECO, que ha asumido un papel central y decisivo en su desarrollo. Para complementar y enriquecer este proceso, se constituyó un grupo de trabajo en el que participaron el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), que aportó su conocimiento técnico y científico en materia de infraestructuras y cambio climático, y la iniciativa europea JASPERS, que contribuyó con su experiencia en proyectos estratégicos y su visión alineada con las políticas de la Unión Europea.

Este grupo multidisciplinar ha permitido garantizar un enfoque integral en la elaboración del Plan, incorporando distintas perspectivas que combinan la solvencia técnica, el conocimiento del territorio y la capacidad de aplicación práctica. La colaboración entre estas tres entidades ha facilitado una planificación coherente, adaptada a las características específicas de la red de carreteras del Estado y a los objetivos del Plan.

Escala

Nacional.

Riesgos

El presente caso de estudio se encuentra directamente relacionado con dos de los riesgos clave analizados en el presente capítulo:

• Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos (RC10.2).

• Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (RC10.3).

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

Este capítulo analiza los principales riesgos derivados del cambio climático que afectan al sector de la movilidad y el transporte en España, así como su relación con otros ámbitos sectoriales. Además, identifica una serie de riesgos clave basándose en la información disponible incluyendo, entre otros aspectos, una evaluación de la severidad del impacto. Finalmente, se han establecido prioridades en base a la urgencia del riesgo, la necesidad de seguimiento y gestión del mismo, con el objetivo de orientar la planificación y gestión de la adaptación.

Para comprender las limitaciones de los resultados presentados, es importante señalar ciertos condicionantes detectados durante el proceso, principalmente relacionados con la disponibilidad de información y las características propias del sector. A continuación, se presentan de manera general las fuentes utilizadas y, posteriormente, se detallan los factores que han condicionado la elaboración del capítulo y la evaluación de los riesgos más relevantes.

Fuentes empleadas

El diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España, elaborado en el año 2021 contempla explícitamente un análisis de riesgos del sector. Además, se han utilizado para la confección de este capítulo otros estudios como el de Naturklima, (2020); CEDEX, (2018); Christodoulou, A. & Demirel, H., (2018); IHOBE, (2022b) y CEDEX, (2011). Para el sector portuario, particularmente, se ha indagado en fuentes como planes de adaptación de puertos de comunidades autónomas (CIIR, 2023; Ports IB, 2021; Gobierno del Principado de Asturias, 2021; IHCantabria, 2021a; IHCantabria, 2021b).

Limitaciones relativas a las características del sector

Por un lado, y como se mencionó en la sección 3. Riesgos relevantes, este capítulo se centra en un análisis desde la perspectiva física de las infraestructuras, pero aún es necesario ampliarlo al ámbito de la movilidad. Es decir, se ha puesto mayor énfasis en el impacto de los eventos climáticos sobre las vías de comunicación (férreas y carreteras) y las estaciones (puertos y terminales de tren) que, en los pasajeros y mercancías desde una perspectiva global, así como en otros medios de transporte, como el peatonal y el uso de la bicicleta.

Además, este sector es propenso a enfrentar peligros climáticos simultáneos, un aspecto para el que actualmente no se dispone de información suficiente y por tanto no ha sido evaluado de esta forma.

Si bien hay análisis en desarrollo sobre la red troncal de transporte terrestre, se ha identificado la falta de un análisis más profundo sobre redes secundarias que no forman parte de la red general. Lógicamente, esta aproximación, que comienza por aquellas infraestructuras cuya afección podría repercutir en un mayor número de personas, servicios y sectores, resulta comprensible desde una perspectiva estratégica, y es previsible que se avance gradualmente hacia una cobertura más amplia.

Por otra parte, este estudio no contempla la proyección de la expansión de la red de transporte. Es decir, si bien se analizan escenarios futuros de peligro, no se tiene en cuenta cómo evolucionarán las redes de transporte, en continua expansión, lo que modificará su exposición y vulnerabilidad en el futuro.

Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del sector

Por lo general, la identificación de los riesgos relevantes se ha basado en estudios que identifican y valoran los impactos climáticos del sector de forma cualitativa, ya que la cuantificación de los impactos y riesgos es aún limitada para el territorio.

Por otro lado, cabe indicar que todos estos estudios han sido elaborados para los escenarios denominados Sendas Representativas de Concentración o Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, de sus siglas en inglés), por lo que parecen estar basados en la anterior generación de simulaciones climáticas (desarrolladas en el marco de CMIP5 o vinculadas a las mismas). La ausencia de estudios y proyectos que hagan mención a combinaciones de RCP y Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP por sus siglas en inglés) pone de manifiesto que los análisis de riesgos realizados no parten de los últimos modelos globales y regionales disponibles, lo cual es esperable, dado que hasta fechas muy recientes no se dispone de un cuerpo de simulaciones regionales lo suficientemente amplio para evaluar aspectos como la incertidumbre.

Por todo ello, se requiere seguir trabajando para generar conocimiento en torno a los impactos y riesgos del cambio climático en la movilidad y el transporte, tanto en lo relativo a la identificación riesgos para nuevos peligros, como en la mejora de la precisión de las evaluaciones existentes. Es crucial, además, desarrollar estudios que integren los últimos escenarios y modelos disponibles para obtener una visión más completa y precisa de los posibles futuros impactos climáticos.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El AMC elaborado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por el IPCC (2022), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, las características temporales del riesgo, los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. Tal y como se refleja previamente, las restricciones en la disponibilidad de información complican la evaluación objetiva de los criterios, haciendo necesario recurrir al juicio de expertos.

Si bien el juicio de expertos puede estar sujeto a sesgos personales y limitaciones subjetivas, para mitigar dicho riesgo, se ha implementado un riguroso proceso de validación interna de forma que las evaluaciones han sido revisadas y corroboradas por múltiples expertos, reforzando así la fiabilidad y la objetividad de los resultados obtenidos.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

Del mismo modo, la limitada información disponible hasta la fecha complica la caracterización de los riesgos clave, particularmente en lo que respecta a la descripción de aspectos como efectos transfronterizos, vulnerabilidad social y territorial, y la perspectiva de género. Además, el análisis de la severidad de los impactos en los diferentes riesgos clave bajo umbrales concretos de calentamiento aún no se encuentra documentada a escala nacional. Es por ello que la información recopilada en las fichas sobre estos temas es una aproximación preliminar, y resulta necesario continuar generando nuevo conocimiento que permita una mejor comprensión de estas cuestiones.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Los estudios previamente analizados se enfocan en evaluar peligros climáticos específicos y aspectos particulares del sector. Como resultado, no se han encontrado análisis que ofrezcan una visión integral de los riesgos e impactos, especialmente en aquellos con un alto potencial de ser compuestos, lo que dificulta representar con precisión la realidad del sector.

Por ello, es crucial ampliar el conocimiento sobre las interacciones entre los riesgos dentro del sector y con otros sectores. Esto permitirá comprender mejor cómo los riesgos compuestos pueden afectarlo en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y eficaces.

8. Referencias

- AdapteCCa. (s.f.). *Visor de Escenarios de Cambio Climático*. Recuperado 11 de junio de 2025, de https://escenarios.adaptecca.es/#&model=EURO-CORDEX-EQM.average&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=year&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE
- ADIF. (2018). *Plan de Lucha Contra el Cambio Climático 2018—2030*. Disponible en: https://www.adif.es/documents/20124/1809001/PLCCC_publicacion.pdf
- ADIF. (2021). *Adif analiza la eficacia de pintar de blanco tramos de carril para evitar su deformación por altas temperaturas*. Disponible en: https://www.adif.es/w/adif-analiza-la-eficacia-de-pintar-de-blanco-tramos-de-carril-para-evitar-su-deformaci %C3 %B3n-por-altas-temperaturas?p_l_back_url= %2Fsearch %3Fq %3Dtemperaturas
- ADIF. (2023a). *ADIF adjudica el suministro de energía verde para el sistema ferroviario*. Disponible en: https://www.adif.es/-/adif-av-adjudica-el-suministro-de-energ %C3 %ADa-verde-para-el-sistema-ferroviario-por-1.741-m %E2 %82 %AC
- ADIF. (2023b). *Adif destina 7,3 millones de euros a actuaciones para el control de la vegetación en vías de alta velocidad*. Disponible en: https://www.adif.es/w/adif-destina-7-3-millones-de-euros-a-actuaciones-para-el-control-de-la-vegetaci %C3 %B3n-en-v %C3 %ADas-de-alta-velocidad?p_l_back_url= %2Fsearch %3Fq %3Dtemperaturas
- ADIF. (2023c). *Renovación del viaducto Itsmo Embalse Contreras (LAV Madrid-Valencia)*. Disponible en: https://www.adif.es/w/renovacion-viaducto-itsmo-embalse-contreras-lav-madrid-valencia?p_l_back_url= %2Fsearch %3Fq %3Dtemperaturas
- AEMET. (s.f.). *Cálculo de rutas y Predicción de las condiciones meteorológicas en las carreteras*. Agencia Estatal de Meteorología. Disponible en: https://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/Meteoruta/CalculoRutas_ayuda.pdf
- AEMET. (2017). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Agencia Estatal de Meteorología.
- AEMET. (2025). *Plan Nacional de predicción y vigilancia de fenómenos metereológicos adversos. Meteoalerta*. Disponible en: https://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/avisos/plan_meteoalerta/plan_meteoalerta.pdf
- AESA. (2024). *Informe General de Actividad 2024*. Disponible en: https://www.seguridadaerea.gob.es/sites/default/files/SIG-IGA-MEM04 %20Ed.01_Version %20Web.pdf
- Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (s.f.). *Empresas ferroviarias | AESF: AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD FERROVIARIA*. Recuperado 2 de junio de 2025, de https://www.seguridadferroviaria.es/agentes-sector-ferroviario/empresas-ferroviarias
- Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (2018). *Limitaciones de velocidad máxima por vientos laterales*.
- Aguado, M., Del Viso, N., Tirado, S., Narocki, C., Sánchez, Á. R., Contreras, C., & Blanca, R. (2022). *Desigualdades climáticas: Impactos y responsabilidades de los eventos meteorológicos extremos*.

- Alguacil Denche, L., Canals Botas, L., Llano Ortiz, J. C., Sanz Angulo, A., & Urbano Molina, C. (2024). *El estado de la pobreza 2024. Primer avance de resultados*.
- Almeida, A., & Picado-Santos, L. (2022). Asphalt road pavements to address climate change challenges—an overview. *Applied Sciences*, 12(24), 12515. https://doi.org/10.3390/app122412515
- Betts, R. A., & Brown, K. (2021). *The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report*. Disponible en: https://www.ukclimaterisk.org/wp-content/uploads/2021/06/Technical-Report-The-Third-Climate-Change-Risk-Assessment.pdf
- Cadena SER. (2024). *Adelpa se suma a la petición de ayudas directas a los afectados por el cierre del Somport*. Disponible en: https://cadenaser.com/aragon/2024/09/27/adelpa-se-suma-a-la-peticion-de-ayudas-directas-a-los-afectados-por-el-cierre-del-somport-radio-jaca-ser-pirineos/?utm_source=chatgpt.com
- Castañares, G. (2018). La adaptación al cambio climático en el transporte ferroviario en España. *Ingeniería Civil*. Disponible en: https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2353
- Castellón al día. (2024). *El transporte de mercancías por carretera en alerta al quedarse fuera de las ayudas del gobierno por la Dana*. Disponible en: https://castellonaldia.elmundo.es/economia/otros-sectores/el-transporte-de-mercancias-por-carretera-en-alerta-al-quedarse-fuera-de-las-ayudas-del-gobierno-por-la-dana-PM21875381
- CEDEX. (2011). *Infraestructuras de transporte y cambio climático*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/seminarioPNACC/16-Infraestructuras%20transporte-CETA-CEDEX_tcm30-169544.pdf
- CEDEX. (2013). *Necesidades de adaptación al cambio climático de la red troncal de infraestructuras de transporte en España. Informe final septiembre de 2013*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/publicaciones/documentos-de-interes/ACC&IT_tcm30-178333.pdf
- CEDEX. (2018). *Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambios climáticos*. Disponible en: https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/accit_informe_final_cedex.pdf
- CEDEX. (2021). *Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España*.
- Christodoulou, A., & Demirel, H. (2018). *Impacts of climate change on transport: A focus on airports, seaports and inland waterways*. EU Publications. https://doi.org/10.2760/378464
- CIIR (2023). Plà d'adaptació al canvi climàtic dels ports de Catalunya. Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners.
- Climate-KIC. (2018). *Annual damage to Europe's critical infrastructure may increase tenfold this century*. Disponible en: https://www.climate-kic.org/news/annual-damage-europes-critical-infrastructure-may-increase-tenfold-century/
- Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno. (2024). *Estrategia Nacional de Seguridad Marítima 2024*. Disponible en: https://www.boe.es/eli/es/o/2024/05/27/pjc501
- DGT. (2024). *Efecto Dana en carreteras*. Dirección General de Tráfico. Disponible en: https://www.dgt.es/comunicacion/notas-de-prensa/20241103-efecto-dana-carreteras?utm_source=chatgpt.com

- Diario Oficial de la UE. (2021). *Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027*. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=OJ%3AC%3A2021%3A373%3AFULL
- Dottori, F., Kalas, M., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., & Feyen, L. (2017). An operational procedure for rapid flood risk assessment in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(7), 1111-1126. https://doi.org/10.5194/nhess-17-1111-2017
- Dottori F, Mentaschi L, Bianchi A, Alfieri L and Feyen L, Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change, EUR 29955 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-12946-2, doi:10.2760/14505, JRC118425
- EEA. (2024). *European Climate Risk Assessment* (Publication No. 01/2024). Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://data.europa.eu/doi/10.2800/204249
- Eklund, G., Sibilia, A., Salbi, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z., & Corbane, C. (2023). *Towards a European wide vulnerability framework: A flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators*. Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2760/353889
- Fernandez-Perez, A., Lara, J. L., Lucio, D., & Losada, I. J. (2024). Compound climate change risk analysis for port infrastructures. *Coastal Engineering*, 193, 104560. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2024.104560
- Forzieri, G., Bianchi, A., Silva, F. B. E., Marin Herrera, M. A., Leblois, A., Lavalle, C., Aerts, J. C. J. H., & Feyen, L. (2018). Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. *Global Environmental Change*, 48, 97-107. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007
- Generalitat de Catalunya. (2021). *Pla d'adaptació al canvi climàtic de 10 ports representatius de Catalunya*. Disponible en: https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/02_OFICINA/publicacions/publicacions_de_canvi_climatic/Estudis_i_docs_adaptacio/PIMA_Adapta_Costas/PACC_2021-PIMA-Ports-Catalunya_v4_definitiu.pdf
- Gobierno de Canarias. (2021). *Informe PIMA ADAPTA COSTAS CANARIAS*. Disponible en: https://opendata.sitcan.es/upload/medio-ambiente/pima/INFORME_PIMA_ADAPTA_COSTAS_CANARIAS.pdf
- Greenpeace. (2024). *Es urgente recuperar el Parque Natural de l'Albufera*. Disponible en: https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/greenpeace-demanda-la-actuacion-urgente-sobre-el-parque-natural-de-lalbufera-y-su-cuenca-hidrografica-para-recuperar-el-espacio-tras-la-devastacion-provocada-por-la-dana/
- Huffpost. (2025a). *La borrasca Martinho golpea en forma de inundaciones y desalojos antes de sus peores horas*. Disponible en: https://www.huffingtonpost.es/tiempo/la-borrasca-martinho-golpea-forma-inundaciones-desalojos-peores-horas.html
- Huffpost. (2025b). *Varias personas desaparecidas, clases suspendidas, carreteras cortadas y tráfico marítimo interrumpido: Así afecta a España la borrasca Laurence*. Disponible en: https://www.huffingtonpost.es/tiempo/colegios-cerrados-carreteras-cortadas-trafimo-maritimo-interrumpido-asi-afecta-espana-borrasca-laurence.html?utm_source=chatgpt.com&onetap=1&prod=REG&event_log=go
- IHCantabria (2021a). Plan de adaptación de los puertos autonómicos de Cantabria.
- IHCantabria (2021b). Plan autonómico de adaptación de los terrenos de dominio público marítimo-terrestre adscritos a la comunidad autónoma de Murcia.

- IHOBE. (2022a). *Inundación pluvial asociada a eventos extremos de precipitación en escenarios de cambio climático en Euskadi*. Disponible en: https://www.ihobe.eus/publicaciones/inundacion-pluvial-asociada-a-eventos-extremos-previpitacion-en-escenario-cambio-climatico-en-euskadi
- IHOBE. (2022b). *Kostaegoki I. Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa del País Vasco frente al cambio climático*. Disponible en: https://www.ihobe.eus/publicaciones/kostaegoki-i-analisis-vulnerabilidad-y-riesgo
- INE. (2024). *Viajeros transportados por destino*. Disponible en: https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=24363#_tabs-tabla
- International Labour Organization. (2023). *Documento de la OIT sobre la protección de los trabajadores en el transporte*. Disponible en: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@travail/documents/publication/wcms_869188.pdf
- International Trade Magazine. (2023). Will climate change alter trade routes around the world? Disponible en: https://intrademagazine.com/will-climate-change-alter-trade-routes-around-the-world/
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group
- Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Vigh, J. L., & Stenek, V. (2021). Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change, 11*(1), 14-20. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00937-z
- Jebbad, R., Sierra, J. P., Mösso, C., Mestres, M., & Sánchez-Arcilla, A. (2022). Assessment of harbour inoperability and adaptation cost due to sea level rise. Application to the port of Tangier-Med (Morocco). *Applied Geography, 138,* 102623. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102623
- Jordà, G., Cacho, I., Argueso, D., Ayarzagüena, B., & Ballabrera-Poy, J. (2024). *Informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España*. SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico (MITECO).
- La Moncloa. (2024). Recuperación de cercanías y alta velocidad dañadas. Disponible en: https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transportes-movilidad-sostenible/paginas/2024/261124-recuperacion-cercanias-alta-velocidad-dana.aspx
- La Voz Digital. (2025). La circulación de trenes entre Cádiz y Sevilla queda interrumpida por inundaciones. Disponible en: https://www.lavozdigital.es/provincia/circulacion-trenes-cadiz-sevilla-queda-interrumpida-inundaciones-20250318163643-ntv.html
- Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. (2021). *Boletín Oficial del Estado*, No. 7/2021. Disponible en: https://www.boe.es/boe/dias/2021/05/21/pdfs/BOE-A-2021-8447.pdf
- Losada Rodríguez, I. J., Izaguirre Lasa, C., & Díaz Simal, P. (2014). *Cambio climático en la costa española*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Centro de Publicaciones. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014%20INFORME%20C3E%20final_tcm30-178459.pdf
- Marcos, M., Orfila, A., Tintoré, J., & Gómez-Pujol, L. (2021). *Análisis de riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears [Informe]*. SOCIB. Disponible en: https://www.caib.es/sites/adaptcalamillor/ca/n/analisis_de_riesgos_en_la_costa_ante_el_cambio_climatico_en_las_illes_balears

- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). *Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española.* Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategiaadaptacionccaprobada_tcm30-420088.pdf
- Ministerio de Industria y Turismo. (2022). *Presentaciones sectoriales 2024: Sector industrial.*
- Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. (s.f.). El cambio climático degradará las infraestructuras e incrementará los costes de mantenimiento | Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030. Recuperado de https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/el-cambio-climatico-degradara-las-infraestructuras-e-incrementara-los-costes-de?utm_source=chatgpt.com
- Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s.f.). *Estudio socioeconómico del sector transporte por carretera.* Disponible en: https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/estudiosocioeconomicosectortteporcarreterav2.pdf
- Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2020). El cambio climático degradará las infraestructuras e incrementará los costes de mantenimiento. Disponible en: https://esmovilidad.transportes.gob.es/noticias/el-cambio-climatico-degradara-las-infraestructuras-e-incrementara-los-costes-de
- Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2024). Transportes habilita 94 millones de euros más de fondos de emergencia y ya suma 123 millones para recuperar las carreteras de València tras la DANA. Disponible en: https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/vie-22112024-1346
- Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenibles, Puertos del Estado. (s.f.). *Bienvenida del Presidente | Puertos del Estado.* Recuperado de https://www.puertos.es/institucional/bienvenida-del-presidente
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *Puntos de especial importancia en zona inundable por periodo de retorno (T=10 años) y demarcación [Base de datos].* Disponible en: https://sig.mapama.gob.es/Docs/Agua/PtoRiesgoInundacion/PEI.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023a). *La protección de la costa en España: Diagnóstico de la situación actual.* Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/temas/temas-pc/planestrategiconacional/Diagnostico%20de%20la%20protecci%C3%B3n%20de%20la%20costa%20en%20Espa%C3%B1a.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023b). *Metodología de adaptación al cambio climático en carreteras.* CEDEX, Servicio de Publicaciones.
- Naturklima. (2020). *Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa.* Disponible en: https://www.naturklima.eus/documentos/documentos/Informe-de-Impacto-y-Vulnerabilidad-CAS.pdf
- Naturklima. (2021). *Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa 2021.*
- Nemry, F., & Demirel, H. (2012). *Impacts of climate change on transport: A focus on road and rail transport infrastructures.* Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2791/15504
- Nokkala, M., Leviäkangas, P., & Oiva, K. (2012). *The costs of extreme weather for the European transport system.* Disponible en: https://sarjaweb.vtt.fi/pdf/technology/2012/T36.pdf
- Observatorio del Transporte y la Logística en España. (s.f.). *Portal del Observatorio del Transporte y la Logística en España [Base de datos].*

- Observatorio del transporte y la logística en España. (2022). 3.8.3 El transporte en el comercio exterior | OTLE. Disponible en: https://otle.transportes.gob.es/inform/es/2022/3competitividad/38-internacionalizacion/383el-transporte-en-el-comercio-exterior-
- Observatorio del transporte y la logística en España. (2023). 3.1.1 Ocupados en el sector transporte según género | OTLE. Disponible en: https://otle.transportes.gob.es/informes-anuales-monograficos/informes-anuales
- Observatorio del transporte y la logística en España. (2025). *Informe anual 2024*.
- Ortega, E., Martín, B., & Aparicio, Á. (2020). Identification of critical sections of the Spanish transport system due to climate scenarios. *Journal of Transport Geography, 84,* 102691. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102691
- Ports IB (2021). Plan de adaptación al cambio climático de los puertos de las Illes Balears.
- Gobierno del Principado de Asturias (2021). Plan de adaptación al cambio climático de los puertos autonómicos del Principado de Asturias.
- Puertos del Estado. (s.f.-a). *Cuadro de Mando anual [Base de datos].*
- Puertos del Estado. (s.f.-b). Estadísticas de datos [Base de datos]. Recuperado de https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOGNmZjE3MzEtNGI5OS00MTg3LWI3OWMtOWI1YzgzNWU-yYzI5IiwidCI6IjNmODhkYzIyLTk5NTUtNDc0Yy04ODBhLTA4ZjEzNmI5NjU5YyIsImMiOjh9
- Puertos del Estado. (2016). *Vulnerabilidad de los puertos españoles ante el cambio climático. Vol. 1: Tendencias de variables físicas oceánicas y atmosféricas durante las últimas décadas y proyecciones para el siglo XXI.* Disponible en: https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/8809
- Puertos del Estado. (2024). *Dossier general de Puertos del Estado*. Disponible en: https://www.puertos.es/sites/default/files/2024-02/Puertos%20del%20Estado%20-%20Dossier%20general%20Desktop.pdf
- Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., Mach, K. J., Mintenbeck, K., O'Neill, B., Pathak, M., Pedace, R., Pörtner, H.-O., Poloczanska, E., Rojas Corradi, M., Sillmann, J., Aalst, M. van, Viner, D., Jones, R., Ruane, A. C., & Ranasinghe, R. (2020). *The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Sánchez-Arcilla, A., Sierra, J. P., Brown, S., Casas-Prat, M., Nicholls, R. J., Lionello, P., & Conte, D. (2016). A review of potential physical impacts on harbours in the Mediterranean Sea under climate change. *Regional Environmental Change*, 16(8), 2471-2484. https://doi.org/10.1007/s10113-016-0972-9
- Sancho, F. (2024, agosto 8). Medidas a seguir por los transportistas para combatir la enésima ola de calor de este verano. *TransporteAlDía.es - Noticias sobre transporte y logística.* Disponible en: https://www.transportealdia.es/medidas-seguir-transportistas-combatir-enesima-ola-calor-verano/
- Sanz, M. J., & Galán, E. (2020). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España.* Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Serkan Arslanalp, Robin Koepke, Alessandra Sozzi, & Jasper Verschuur. (2023). *Climate change is disrupting global trade.* Disponible en: https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2023/11/15/climate-change-is-disrupting-global-trade

- Statista Research Department. (2024). *España: Llegadas de turistas en tren 2000-2023*. Statista. Disponible en: https://es.statista.com/estadisticas/474970/llegadas-de-turistas-internacionales-a-espana-en-tren/
- TCFD. (2020). *Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Guidance on Risk Management Integration and Disclosure*.
- UCMG. (2018). *Proyecciones regionales de Cambio Climático para vientos extremos en España para el s.XXI: Caracterización de valores de retorno y frecuencia de configuraciones atmosféricas de peligro*. Disponible en: https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/2018_uc_proyecciones_regionales_cc_vientos_extremos_0.pdf
- UNDRR. (2022). *Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change.* United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- United Nations. (2024). *Review of maritime transport: Navigating maritime chokepoints*. United Nations Publication.
- URBAN KLIMA. (2050). *Adaptación de los puertos*. Disponible en: https://www.urbanklima2050.eu/es/adaptacion-de-los-puertos/accion/18/
- Van Ginkel, K. C. H., Dottori, F., Alfieri, L., Feyen, L., & Koks, E. E. (2021). Flood risk assessment of the European road network. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 21*(3), 1011-1027. https://doi.org/10.5194/nhess-21-1011-2021
- Van Ginkel, K. C. H., Koks, E. E., De Groen, F., Nguyen, V. D., & Alfieri, L. (2022). Will river floods 'tip' European road networks? A robustness assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 108,* 103332. https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103332
- Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2023). Systemic risks from climate-related disruptions at ports. *Nature Climate Change, 13*(8), 766-777. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01754-w
- Zittis, G., Ahrens, B., Obermann-Hellhund, A., Giannakis, E., Risto, D., Agulles Gamez, M., Jorda, G., Quesada Peña, M., Lora Rodríguez, V., Guersi Sauret, J. L., Lionello, P., Briche, E., Collignan, J., Grätz, M., Arikas, D., Stylianou, C., Neophytou, H., & Serghides, D. (2023). Maritime transport and regional climate change impacts in large EU islands and archipelagos. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration, 8*(2), 347-380. https://doi.org/10.1007/s41207-023-00370-6

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Industria y servicios

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autora: María Puig Fuentenebro (Tecnalia)

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda (Tecnalia), María Ayelén Calvet (Tecnalia)

Agradecimientos: Cristina Riestra López (CEOE), Oihana Jauregui Zorzano (Tecnalia)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Puig, M. (2025). Industria y servicios. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 1118

2. Introducción / pág. 1120

3. Riesgos relevantes del sector de la Industria y los servicios / pág. 1122

4. Riesgos clave del sector de la Industria y los servicios / pág. 1131

4.1. RC11.1: Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos / pág. 1132

4.2. RC11.2: Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por la reducción del aporte hídrico / pág. 1143

4.3. RC11.3. Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por temperaturas extremas / pág. 1155

4.4. RC11.4. Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstos dependen de las condiciones climáticas / pág. 1164

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 1175

6. Caso de estudio / pág. 1180

8. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 1182

8. Referencias / pág. 1186

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Industria y servicios de la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos com-

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

puestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptua**l de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones,** las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. **Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

La industria y los servicios de nuestro país, conformados por múltiples ramas de actividad, se verán sometidos a un proceso de transformación en las próximas décadas como consecuencia de la necesidad de orientarse hacia la neutralidad climática. Para 2050, se tendrá que adaptar y contribuir a una economía baja en carbono y tendrá que incrementar su resiliencia para hacer frente a los riesgos derivados del cambio climático.

Este sector, caracterizado por una alta diversidad de actividades y por proporcionar una gran variedad de bienes y servicios, se encuentra interconectado con distintos ámbitos sectoriales y depende de múltiples factores para poder operar convenientemente. Por ejemplo, aspectos locales como los recursos (p. ej., la disponibilidad de agua) condicionan el funcionamiento de la industria manufacturera (industria química, alimentación y bebidas, papel, metalurgia, entre otros), así como otros aspectos de mayor escala, como son la presencia de buenas infraestructuras de comunicaciones o la disponibilidad e importación de materias primas para el desarrollo de productos.

Esta complejidad de factores hace que el sector afronte impactos de diversa naturaleza, entre los que destacan los daños sobre los propios activos como consecuencia de los eventos extremos (IPCC, 2012). Por ejemplo, en España, la gran mayoría de siniestros tramitados por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) sobre los bienes asegurados de estos sectores, esto es industrias, comercios y oficinas, se han correspondido con los daños ocasionados por eventos de inundaciones y tempestades ciclónicas atípicas (un 86,8 % del total de las tramitaciones atendidas) y han supuesto un 87,9 %[3] del coste total durante el periodo 2017-2022 (Consorcio de Compensación de Seguros, 2022).

Los estudios llevados a cabo sobre los impactos y riesgos derivados del cambio climático en este ámbito se han desarrollado principalmente a nivel europeo. Entre los impactos más analizados se encuentran aquellos relativos a los cambios producidos en la productividad laboral derivados del aumento de las temperaturas extremas (Flouris *et al.,* 2017; Forzieri *et al.,* 2018b). De acuerdo con estos estudios, para 2050 se auguran unas pérdidas anuales en el Valor Agregado Bruto (VAB) de hasta 1.067 millones de euros[4] en determinadas comunidades autónomas (Flouris *et al.,* 2017) y una reducción de la productividad laboral en el sector industrial de un 1,82 % bajo un escenario de

[3] Se incluyen también las indemnizaciones sobre las viviendas aseguradas.

[4] Estimación proporcionada para los sectores de agricultura, industria manufacturera, construcción, transporte y turismo.

calentamiento de 2 °C (SSP2-RCP 4.5) (Forzieri *et al.,* 2018b). A nivel nacional, por el contrario, la cuantificación de los impactos ha sido limitada. Los trabajos desarrollados hasta el momento han estado centrados, en su gran mayoría, en el análisis del riesgo del sector ante el peligro de inundaciones costeras. Estos análisis se han elaborado dentro del marco de los Planes de Impulso al Medioambiente (PIMA) Adapta Costa[5], puestos en marcha en 2016, y han permitido estimar los efectos del cambio climático en el sistema natural y socioeconómico de las zonas costeras de España.

Teniendo en cuenta todo ello, el presente capítulo elabora el diagnóstico de los impactos y riesgos derivados del cambio climático en el sector industrial y de servicios de nuestro país, abarcando los ámbitos comprendidos dentro de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009). En este sentido, incluye los subsectores de la industria manufacturera y extractiva dentro del sector industrial, así como el comercio, los servicios de información y comunicaciones, actividades inmobiliarias (p. ej., compraventa y alquiler de bienes, y gestión y administración de la propiedad inmobiliaria), actividades profesionales, científicas y técnicas (p. ej., actividades jurídicas, actividades de consultoría, investigación y desarrollo), actividades administrativas, administración pública, educación, actividades artísticas, recreativas y otros.

Por tanto, deja fuera de este ámbito sectorial determinadas actividades, como la producción de energía y agua, el transporte, el turismo, la sanidad y las actividades financieras y de seguros, debido a que conforman ámbitos sectoriales propios ya considerados en esta evaluación nacional de riesgos.

Por otro lado, el capítulo pone especial atención en las pymes, cuya vulnerabilidad puede ser especialmente elevada frente al cambio climático debido a la limitada capacidad financiera de la que disponen y la importancia que tienen en la estabilidad económica del país. Sin embargo, cabe indicar que la baja complejidad de su estructura también les permite abarcar una amplia gama de mercados y adaptarse mejor a las nuevas necesidades.

[5] https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/pima-adapta.html

3. Riesgos relevantes del sector de la Industria y los servicios

Los riesgos relevantes del sector de la industria y los servicios son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas en el sector y que pueden llegar a afectar negativamente la operatividad, rentabilidad y sostenibilidad del mismo. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad, que caracteriza el sector, y pueden cambiar con el tiempo y el espacio debido a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas (Reisinger *et al.,* 2020).

De acuerdo con la literatura científica, el sector se encuentra expuesto a una alta diversidad de **peligros climáticos**, entre las que destacan el calor extremo (Orlov *et al.,* 2019; Szewczyk *et al.,* 2021), las sequías (Chatain *et al.,* 2021; Forzieri *et al.,* 2018; Rossi *et al.,* 2023), las fuertes granizadas (EEA, 2024a) y las inundaciones fluviales (EEA, 2024a), pluviales (CEDEX, 2021) y costeras (Ihobe *et al.,* 2022; SOCIB, 2021). Otros peligros como las heladas y nevadas, por el contrario, si bien tienen el potencial de producir un impacto sobre el sector, no son tan relevantes puesto que tenderán a reducirse a lo largo del siglo como consecuencia del aumento de las temperaturas (AEMET, 2017; EEA, 2024b).

En general, los peligros previamente descritos afectan fundamentalmente sobre tres principales subelementos, que son reconocidos dentro del diagrama de modelos de negocio propuesto por Osterwalder Y Pigneur (2010) y que se corresponden con:

- **Activos y operaciones:** hace referencia, tanto a los recursos físicos (p. ej., maquinaria, equipos e instalaciones) y humanos (p. ej., plantillas), como a los procesos desarrollados por las empresas para llevar a cabo su actividad con normalidad.

- **Cadena de suministro:** incluye el abastecimiento y aprovisionamiento, el transporte y la logística, las operaciones de almacenamiento y distribución, la fabricación y los servicios.

- **Mercado:** viene definido por la demanda de los consumidores, así como por los productos o servicios que son ofrecidos por el sector.

La **exposición** de estos elementos a los peligros climáticos viene principalmente condicionada por el emplazamiento y el tipo de actividad. En este sentido, la alta variedad de actividades que caracteriza el sector refleja una distribución repartida por todo el territorio, siendo las comunidades de Cataluña, Comunidad de Madrid, Andalucía y Valencia las que mayor número de empresas dentro del sector industria y servicios concentran (MINTUR, 2024a).

En cuanto a los factores de **vulnerabilidad**, si se analiza desde un punto de vista holístico, atendiendo a la aproximación definida por Eklund *et al.,* (2023), se observa que dicha componente comprende cinco dimensiones:

- La dimensión **físico-tecnológica** hace referencia a la predisposición que presentan las infraestructuras a verse afectadas y atiende a factores como la antigüedad de la instalación, la frecuencia de mantenimiento y las condiciones de diseño de la actividad.

- La segunda dimensión describe la situación **económica** de la actividad y vendría caracterizada por el tamaño, el número de empleados y el volumen de negocios de cada actividad. En España la práctica totalidad del tejido empresarial (99,8 %) está constituido por pequeñas y medianas empresas (pymes), es decir, entre 0 y 269 asalariados. Dentro de este porcentaje las empresas sin asalariados representan el 53,6 %, y cuentan con el menor volumen de ingresos (menos de 2 millones de € en 2023) (MINTUR, 2024b). En este sentido, el colectivo de pymes sin asalariados, si bien presenta determinadas ventajas, como una mayor adaptación a los nuevos mercados gracias a la menor complejidad de su infraestructura, presentan también desventajas como su adaptabilidad limitada por su menor capacidad financiera (Calvo González-Regueral and Iglesias Banciella, 2021).

- La siguiente componente, relativa a la vulnerabilidad **social**, explica los factores sociales que pueden aumentar los riesgos del sector (Angeon and Bates, 2015), como, por ejemplo, la edad, las condiciones laborales de los trabajadores, la discapacidad, y el desconocimiento de los riesgos y de medidas de prevención o de alerta por parte de los propietarios de las industrias y los servicios (OECC, 2024a).

- La vulnerabilidad **ambiental** representa la cuarta dimensión y se refiere a la dependencia de ciertos recursos básicos y materias primas provenientes de los ecosistemas vulnerables. Se trata, por tanto, de productos como alimentos (cultivos, ganadería), fibras y materiales (madera, gas y petróleo), combustibles, entre otros. Son bienes necesarios para determinadas actividades, como la industria alimentaria o el comercio, y su disponibilidad se encuentra fuertemente condicionada por las condiciones climáticas existentes.

- La última dimensión relativa a la **gobernanza** engloba la capacidad y proactividad en cuanto a la adopción de estrategias y planes de adaptación para la reducción del riesgo climático, incluyendo a su vez la percepción del sector sobre la eficacia de dichas políticas.

Al mismo tiempo, otros **factores de riesgo subyacentes** agravan la exposición y vulnerabilidad, que presenta el sector ante los peligros previamente descritos. De acuerdo con el grupo de trabajo *Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD)*, creado por el Consejo de Estabilidad Financiera (FSB) para fomentar que las empresas informen a sus inversores sobre los riesgos relacionados con el cambio climático, existen una serie de riesgos derivados de la transición que impactan sobre el sector (TCFD, 2020). Los riesgos de transición hacen referencia a las cargas asociadas con la preparación de las sociedades y sus economías para el desafío que supone la transición hacia la descarbonización de las economías y corresponden con:

- **Riesgos tecnológicos:** se corresponden con los riesgos que pueden derivarse de las mejoras o innovaciones tecnológicas. El despliegue de este tipo de tecnologías puede requerir la actualización y reemplazo de las tecnologías antiguas generando costes significativos para el sector.

- **Riesgos de mercado:** hacen referencia a los cambios en la oferta y la demanda de determinados productos y servicios a medida que los riesgos climáticos tienen lugar y surgen nuevas oportunidades. Por ejemplo, a medida que los consumidores son más conscientes del cambio climático, buscan otros productos más sostenibles, y, como consecuencia, las empresas que no se adapten a este cambio de tendencia pueden perder ventas frente a otros competidores.

- **Riesgos reputacionales o de percepción:** están relacionados con la percepción de los consumidores con respecto a la contribución de una empresa a la transición. Esta creciente conciencia por parte de los consumidores puede dar lugar a la pérdida de clientes, al deterioro de la imagen de la empresa, a reacciones por parte de movimientos sociales llegando a traducirse en litigios climáticos, e incluso en la falta de interés por parte de inversores conscientes del cambio climático y de sus riesgos.

- **Riesgos de gobernanza:** se refieren a cambios en las políticas y regulaciones, así como cambios en subsidios o incentivos que promueven prácticas que contribuyen, tanto a la mitigación como a la adaptación climática. Por ejemplo, la adopción de soluciones que fomentan la eficiencia hídrica puede requerir un aumento de costes a corto plazo, así como plazos para ajustarse a la nueva normativa.

Además, existen otro tipo de riesgos subyacentes, derivados de **eventos disruptivos**, que son sucesos completamente atípicos e inesperados (p. ej., guerras, pandemias y eventos climáticos excepcionales por su magnitud), los cuales se encuentran fuera del ámbito de lo esperado, de las expectativas habituales, y cuyo impacto tiene una gran repercusión socioeconómica.

La Figura 1 representa de forma esquemática todos los componentes previamente descritos: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector ante dichos peligros, las diferentes vulnerabilidades y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector.

Industria y servicios

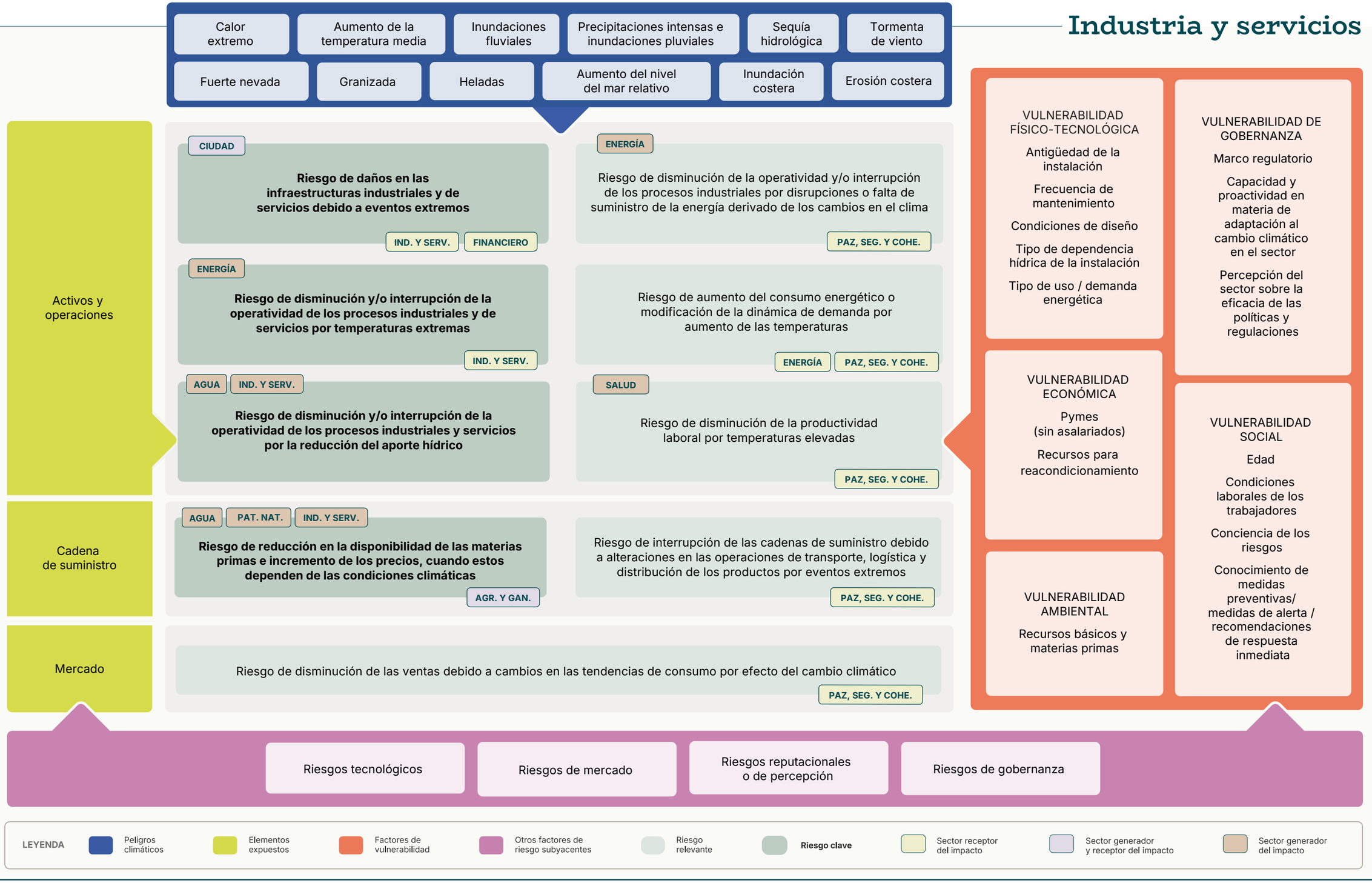


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector de la industria y servicios. Fuente: basado en UNDRR (2022).

Estos riesgos relevantes identificados para el sector se resumen en la Tabla 1 y se describen cada uno de ellos a continuación.

Riesgos relevantes relativos a los activos y operaciones

Dentro de este elemento expuesto se encontrarían aquellos riesgos que limitan o interrumpen los procesos industriales y de servicios. El primero de los riesgos identificados por varios autores (ETUC, 2020; Sanz y Galán, 2021; UNEP FI, 2023) corresponde con el **riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos,** entre los que destacan las inundaciones (fluviales, pluviales y costeras) y los vientos extremos. Se trata de un riesgo relacionado con la afección a la integridad física de los activos, que ha sido identificado como un potencial impacto en todo el territorio. Por ejemplo, la cartografía disponible en el visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)[6] recoge la potencial afección de las instalaciones industriales y servicios en determinadas demarcaciones para el escenario actual y distintos periodos de retorno. Del mismo modo, los PIMA Adapta Costa (Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial, 2021; Ihobe *et al.,* 2022; SOCIB, 2021) reflejan también dicho riesgo ante el peligro de inundación costera bajo el horizonte temporal 2050 y los escenarios climáticos RCP 4.5 y RCP 8.5.

Sanz y Galán (2021), así como otros estudios (Banco Mundial, 2016; ETUC, 2020) reconocen también el **riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico.** Este riesgo se debe a la alta dependencia que muestra el sector al recurso hídrico, la cual es mayor en la industria química, la de alimentos y bebidas, papel y metalurgia/fabricación de productos metálicos (INE, 2015), y, dentro del sector servicios, es superior en el comercio (INE, 2017)[7]. Asimismo, en términos de huella hídrica, destaca la industria alimentaria al ser una de las actividades que más agua indirecta recibe (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011; Olcina and Sotelo, 2013)[8].

La operatividad de las industrias puede también verse **disminuida o interrumpida por disrupciones o falta de suministro de la energía derivado de los cambios en el clima,** siendo la metalurgia, la alimentación y la química, las industrias que se enfrentarían a un mayor riesgo al ser las más consumidoras de energía (INE, 2023a). El Reglamento 2019/941 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio

[6] https://sig.miteco.gob.es/snczi

[7] El estudio de INE 2017 destaca las actividades sanitarias y la hostelería, como grandes consumidoras de agua; sin embargo, se encuentran fuera del alcance de este capítulo.

[8] El estudio de Olcina y Sotela, 2013 destaca el subsector de la hostelería y turismo desde el punto de vista de la huella hídrica; sin embargo, se encuentran fuera del alcance de este capítulo.

de 2019, sobre la preparación frente a los riesgos en el sector de la electricidad, establece la necesidad que los Estados miembros elaboren un plan de preparación frente a los riesgos identificados sobre el conjunto del sistema eléctrico. No obstante, es importante destacar que el suministro eléctrico en España generalmente dispone de un robusto sistema de preparación para gestionar de manera autónoma las limitaciones o interrupciones en el suministro energético (MITECO, 2024).

Por otro lado, se ha identificado también el **riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por las temperaturas extremas** (Forzieri *et al.*, 2018c; EEA, 2024b). En la actualidad, numerosas instalaciones industriales operan al aire libre y han sido diseñadas para unos determinados rangos de operación. Por ejemplo, en una instalación que tenga todas las conducciones a la intemperie y también los dispositivos, un sobrecalentamiento de los fluidos que circulan por la planta procedente del exterior, y que no estén dentro de los rangos previstos, puede obligar a adoptar cambios en los procesos, como cubrir las instalaciones, poner camisas de refrigeración a los dispositivos o a los tanques de almacenamiento, incrementar las revisiones de mantenimiento por daños, entre otros. Adicionalmente, estos mismos equipos también pueden necesitar ser acondicionados cuando el proyecto de la instalación en origen no contemple posibilidades de heladas.

También, como consecuencia de un incremento de las temperaturas, se ha observado en varios estudios **el riesgo de un aumento del consumo energético o modificación de la dinámica de demanda** (Sanz y Galán, 2021; Naturklima, 2021). Se trata de un riesgo que conlleva cambios en los patrones de la demanda de electricidad como resultado de los escenarios climáticos previstos. De acuerdo con el INE (2023), la industria metalúrgica, la de alimentación y la industria química son los subsectores que muestran una mayor dependencia eléctrica; es por ello por lo que el aumento del consumo energético será mayor en ellas.

La exposición al calor extremo también afecta tanto a la oferta de mano de obra (número de horas trabajadas) como a la productividad laboral (producción durante esas horas). De acuerdo con Szewczyk *et al.* (2021), el **riesgo de disminución de la productividad laboral** será mayor al Sur de la península y a lo largo de la costa mediterránea para finales de siglo. Este comportamiento es señalado también por Dasgupta *et al.* (2021), el cual describe un mayor riesgo al Sur de la península para un escenario de calentamiento de 1,5 °C.

Riesgos relevantes relativos a las cadenas de suministro

En lo que se refiere a las **cadenas de suministro**, los subsectores de la industria española y servicios reconocen haber experimentado un **riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas,** lo que ha limitado sus posibilidades de producción y exportación tanto del mercado nacional

como internacional (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2022). La industria alimentaria es una de las principales actividades expuestas ante este riesgo, puesto que las materias primas que necesita para la producción de alimentos dependen de una forma directa de las condiciones climáticas. Esta actividad, si bien se encuentra repartida por todo el país, se concentra en mayor medida en Andalucía, Cataluña y Castilla y León (MAPA, 2023).

Además, para este mismo elemento expuesto, la literatura identifica **el riesgo de interrupción de las cadenas de suministro debido a alteraciones en las operaciones de transporte, logística y distribución de los productos por eventos extremos** (FIAB, 2020; Picos, 2020). Se trata de un riesgo que también ha sido señalado por CEDEX (2018), el cual refleja afecciones en la red de transporte por carretera, ferroviario, marítimo y aéreo por el cambio climático.

Riesgos relevantes relativos al mercado

Finalmente, con respecto al mercado, los cambios observados en las tendencias de consumo y en el uso de los productos, como consecuencia de una mayor conciencia frente al cambio climático (Thøgersen, 2021) o de la falta de competitividad de los productos maladaptados, pueden dar lugar a un **riesgo en la disminución de las ventas debido a cambios en las tendencias de consumo por efecto del cambio climático.**

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del sector de la industria y los servicios.

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR11.1	Activos y operaciones	Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos.	RC11.1
RR11.2	Activos y operaciones	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico.	RC11.2
RR11.3	Activos y operaciones	Riesgo de disminución de la operatividad y/o interrupción de los procesos industriales por disrupciones o falta en el suministro de la energía derivado de los cambios en el clima.	-
RR11.4	Activos y operaciones	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas.	RC11.3
RR11.5	Activos y operaciones	Riesgo de aumento del consumo energético o modificación de la dinámica de demanda por aumento de las temperaturas.	-
RR11.6	Activos y operaciones	Riesgo de disminución de la productividad laboral por temperaturas elevadas.	-
RR11.7	Cadena de suministro	Riesgo de reducción en la disponibilidad de las materias primas e incremento de los precios, cuando estos dependen de las condiciones climáticas.	RC11.4
RR11.8	Cadena de suministro	Riesgo de interrupción de las cadenas de suministro debido a alteraciones en las operaciones de transporte, logística y distribución de los productos por eventos extremos.	-
RR11.9	Mercado	Riesgo de disminución de las ventas debido a cambios en las tendencias de consumo por efecto del cambio climático.	-

4. Riesgos clave del sector de la Industria y los servicios

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición y en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector de la industria y los servicios, los nueve riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts and Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa de la Agencia Europea de Medio Ambiente EUCRA (EEA, 2024b).

La aplicación de dichos criterios al sector de la industria y los servicios y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos que son catalogados como “Riesgos Clave” y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR11.1 Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos (RC11.1).
- RR11.2 Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico (RC11.2).
- RR11.4 Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas (RC11.3).
- RR11.7 Riesgo de reducción en la disponibilidad de las materias primas e incremento de los precios, cuando estos dependen de las condiciones climáticas (RC11.4).

A continuación, se describe con mayor nivel de detalle cada uno de estos riesgos clave.

4.1. RC11.1: Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos

El primer riesgo clave priorizado se corresponde con el **riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos.** Este riesgo, reconocido tanto en la literatura (ETUC, 2020; Sanz y Galán, 2021; UNEP FI, 2023) como en la cartografía elaborada hasta la fecha relativa a inundaciones fluviales y costeras (Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables[9] y estudios del PIMA Adapta Costas, respectivamente), se encuentra relacionado con la afección a la integridad física de los activos por episodios tales como inundaciones (fluviales, pluviales y costeras) y vientos extremos.

La potencial afección observada en la cartografía a lo largo de todo el país es uno de los principales motivos por los que se considera clave este riesgo, junto con otras causas, descritas en detalle en el AMC, como su alta probabilidad de ocurrencia a corto plazo y su elevado alcance en términos económicos y de población afectada. Muestra de ello son los datos estadísticos proporcionados por el Consorcio de Compensación de Seguros (2022), que reflejan indemnizaciones recibidas entre 1971-2022 en las industrias y servicios de 2.000 y 6.000[10] millones de euros, respectivamente, debido principalmente a inundaciones y tempestades ciclónicas atípicas. Además, su capacidad para impactar sobre determinados colectivos (p. ej., pymes con menor número de asalariados y/o menos ingresos) es otro de los motivos por los que es considerado un riesgo clave, así como por su alto potencial de producir impactos y riesgos en cascada (**Figura 3**) y su limitada capacidad para adaptarse a pesar de las acciones de adaptación propuestas hasta el momento (**Ficha 1**).

La **Figura 3** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y sobre él actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

[9] https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi.html

[10] Las indemnizaciones proporcionadas por el CCS son relativas a oficinas, viviendas y comercios.

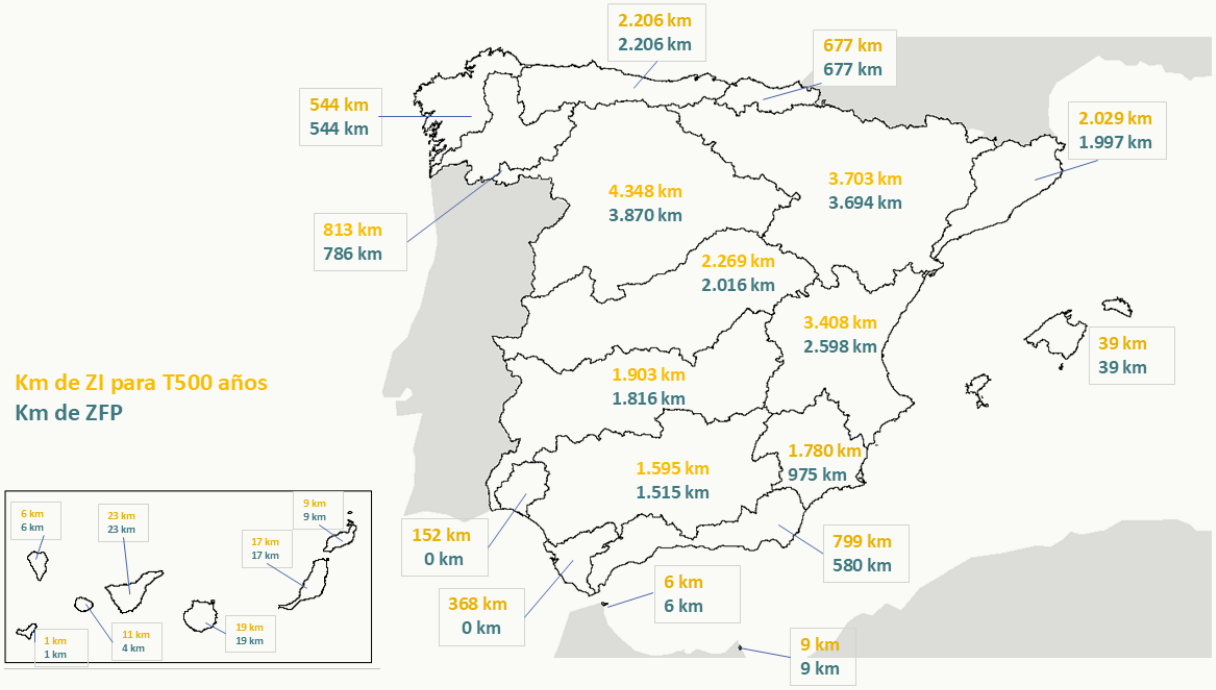


Figura 2. Distribución por demarcaciones hidrográficas de los kilómetros de zonas inundables (ZI)[11] para avenidas con probabilidad baja o excepcional (T = 500 años) y de los kilómetros de zona de flujo preferente (ZPF)[12] (MITECO, s.f.[13]).

[11] Zona Inundable (ZI): Tramo de cauce para el que se ha cartografiado la llanura de inundación en el SNCZI, considerando distintos periodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años). Se expresa en km como longitud de cauce estudiado, no como superficie inundable.

[12] Zona de Flujo Preferente (ZFP): Franja del cauce donde se concentra el flujo durante las avenidas, incluyendo la vía de intenso desagüe y la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes. Se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios: a) que el calado sea superior a 1 m; b) que la velocidad sea superior a 1 m/s; o c) que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m^2/s. La ZFP se expresa en km por referirse a la longitud de cauces con ZFP delimitada, no a su superficie.

[13] https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi.html

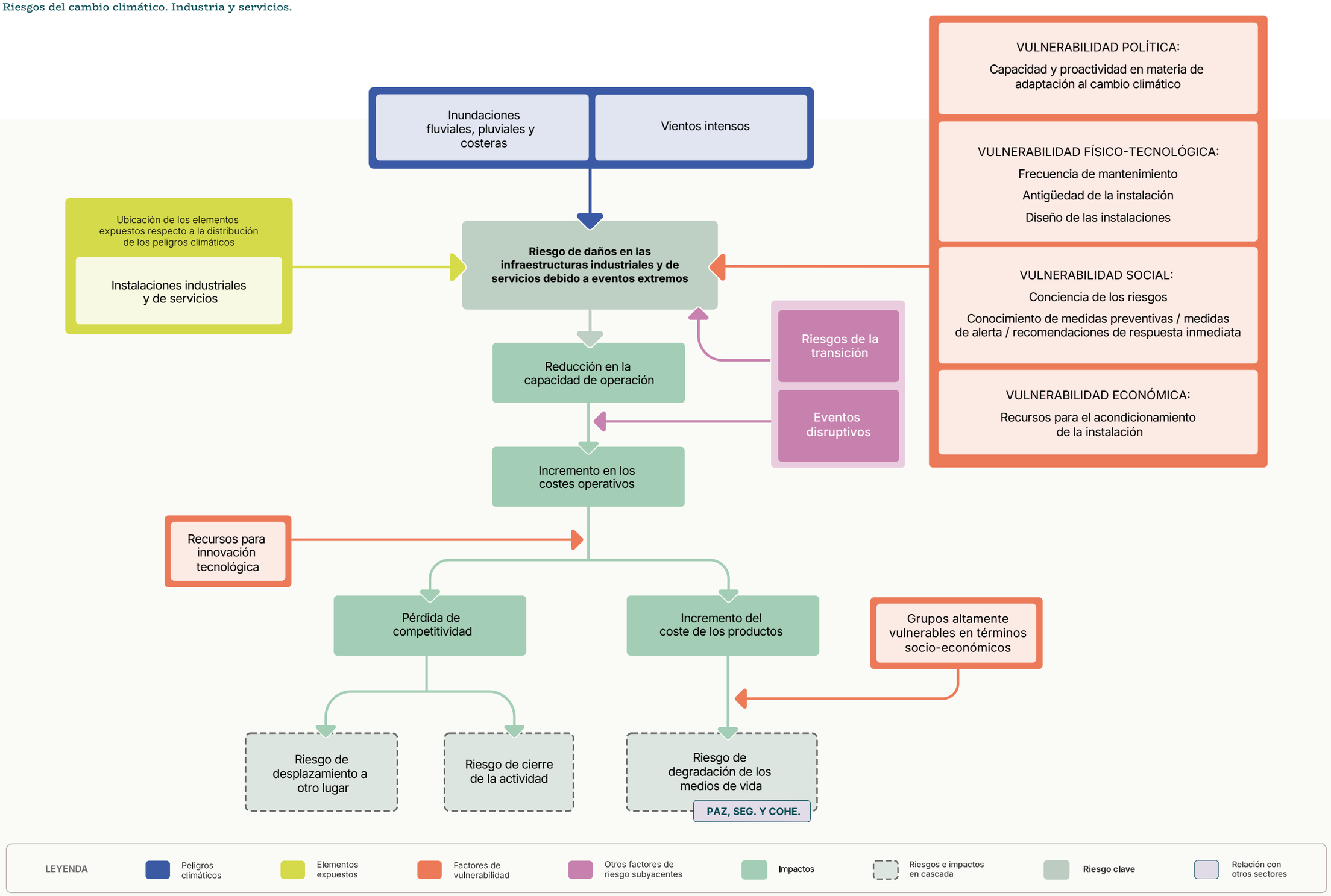


Figura 3. Cadena de impacto del riesgo clave de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos.

Tal y como se observa en la **Figura 3**, los fuertes vientos y las inundaciones pluviales, fluviales y costeras son los principales peligros que desencadenan este riesgo clave. Según el estudio de CEDEX (2021), en el que se analiza el cambio relativo en el factor de torrencialidad, se prevé un incremento en dicho factor, lo que dará lugar a una mayor frecuencia de episodios de inundación fluvial y pluvial a corto plazo (2011-2040). Del mismo modo, los distintos estudios elaborados en el marco del PIMA Adapta Costas auguran un incremento en las inundaciones costeras para 2050, como consecuencia de un incremento medio en España en la subida del nivel del mar de 26 cm para dicho periodo. Por el contrario, no se prevén cambios significativos ni en la velocidad media del viento ni en sus rachas máximas (UCMG, 2018; EEA, 2024b).

De forma general, las instalaciones industriales y de servicios se ven expuestas a estos peligros y su exposición varía en función de su localización.

En Europa, los daños anuales ocasionados por distintos peligros climáticos en infraestructuras críticas industriales (metalúrgicas, mineras, químicas, refinerías y sistemas de tratamiento de agua y residuos) se estiman en 1.548 M € (Forzieri *et al.,* 2018a). Para el periodo 2011–2040, las pérdidas proyectadas ascienden a 3.988 M €, de los cuales un 22,8 % se debería a inundaciones fluviales. En el horizonte 2041–2070, la cifra aumentaría a 8.695 M €, correspondiendo a estas inundaciones un 10,9 %. Finalmente, entre 2071 y 2100 los daños alcanzarían los 16.237 M € (con una horquilla entre 9.900 y 22.500 M €), con una contribución del 7,5 % de las inundaciones fluviales y del 3,1 % de las tempestades de viento.

Según la estadística estructural de empresas del sector industrial y de servicios elaborada por el INE, las empresas industriales se concentran mayoritariamente en las comunidades autónomas de Cataluña, Andalucía, Valencia y Madrid (INE, 2022a), mientras que los servicios se concentran mayoritariamente en las comunidades autónomas de Madrid y Cataluña (INE, 2022b14). Si se atiende a la información disponible en el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, prácticamente todas las demarcaciones hidrográficas presentan servicios e industrias ubicados en zonas inundables. Sin embargo, para el periodo de retorno de 100 años, las cuencas internas de Cataluña muestran el mayor número de industrias (incluyendo instalaciones químicas afectadas por la Directiva Seveso y centros con naturaleza radiactiva) y servicios (centros con concurrencia pública significativa, como centros comerciales; centros educativos; residencias especiales como campings, residencias de ancianos, establecimientos de seguridad y emergencias) localizados en zonas inundables. Destacan también otras demarcaciones, como la del Júcar, Ebro y Cantábrico Oriental. En cuanto a la información recogida en los PIMA Adapta Costa disponibles, cabe señalar la

[14] No se consideran las empresas de servicios destinadas al transporte, hostelería y actividades sanitarias ya que se encuentran fuera del ámbito del presente capítulo.

potencial afección reflejada en el suelo industrial en Palma de Mallorca ante la inundación costera para el periodo 2050 (SOCIB, 2021).

La vulnerabilidad de las instalaciones industriales y de servicios depende de factores físicos como el diseño, la frecuencia de mantenimiento y la antigüedad de la instalación. En general, las instalaciones con diseños antiguos y con un escaso mantenimiento y conservación son más susceptibles a los eventos extremos. Otros factores sociales, como el desconocimiento de los riesgos derivados de los eventos extremos y de las medidas de prevención o de alerta, incrementan también dicha vulnerabilidad, así como aspectos económicos como el tamaño, el número de empleados y el volumen de negocios de la actividad. Este tipo de factores económicos reflejan la capacidad que muestra la actividad para recuperarse de las consecuencias del riesgo. Cuanto menor es su tamaño, el número de empleados y su volumen de negocios, menor es su capacidad de recuperación. Dentro del sector industrial, las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla y las comunidades autónomas de Islas Baleares y La Rioja muestran empresas con menor cifra de negocios (INE, 2022a), mientras que para los servicios esta menor capacidad potencial se observa en la ciudad autónoma de Melilla y en las comunidades autónomas de La Rioja y Cantabria (INE, 2022b).

La interacción de los eventos extremos descritos, junto con la exposición y vulnerabilidad de las industrias y servicios da como resultado el riesgo de daños sobre las instalaciones. Ejemplo de ello son los datos previamente mencionados del CCS relativos a las indemnizaciones recibidas en el sector por eventos de inundaciones en los últimos años.

El riesgo de daños sobre las instalaciones desencadenaría como potencial impacto una reducción en la capacidad de operación y, a su vez, un incremento en los costes operativos debido a la necesidad de implementar medidas de gestión del riesgo asociadas al impacto mencionado. Como consecuencia, la competitividad de la actividad podría disminuir, pudiendo dar lugar al desplazamiento de la actividad o al cierre de la instalación. Asimismo, el aumento de los costes podría resultar en un incremento de los precios de los productos, afectando de manera adversa a las personas con menos recursos y pudiendo derivar en un riesgo de degradación de sus medios de vida (riesgo reconocido en el ámbito sectorial *Paz, seguridad y cohesión social*).

Finalmente, este riesgo podría estar afectado por otros factores subyacentes, como los riesgos de transición o eventos inesperados de gran impacto, como son los eventos de cisne negro. En concreto, los riesgos regulatorios y tecnológicos, explicados en la sección 2, podrían aumentar los costes operativos, y los eventos disruptivos o de cisne negro podrían tener un efecto considerable en la actividad a lo largo de toda la cadena de impacto.

Ficha 1. Análisis del riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	Los daños anuales esperados para España, solo por inundaciones fluviales y considerando las condiciones socioeconómicas actuales, y sin adoptar medidas de adaptación, representarían un 0,04 % del PIB (636 millones €) (Dottori *et al.,* 2020). Esta cifra, sin considerar la excepcionalidad de la dana de 2024, es superior al valor promedio anual de los daños manejados por el CCS (casi 200 millones de euros, equivalentes al 0,01% del PIB). A julio de 2025, el CCS (2025[15]) ya había pagado 3.311 M € como consecuencia de la dana de 2024, correspondiendo 628 M € (19 % del total) a Comercios, almacenes y otros riesgos[16]; 509 M € (15,4 %) a Riesgos industriales, y 29 M € (0,9 %) a Oficinas.	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 1,5 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.,* 2020). El estudio de CEDEX (2021) prevé un incremento de la torrencialidad para el periodo 2011-2040, lo que incrementaría, a su vez, las inundaciones fluviales y pluviales. Dado que los datos disponibles incluyen daños de un tipo de evento extremo de todos los posibles, y considerando el incremento de la amenaza, se ha considerado una severidad crítica.	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 2 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.,* 2020). El porcentaje disminuiría al 0,04 % (con severidad limitada) considerando las condiciones socioeconómicas del año 2050. Según PIMA ADAPTA COSTA, para el año 2050 se prevé un incremento en la una subida del nivel del mar de 26 cm, por lo que se produciría un incremento en la exposición de las infraestructuras industriales y de servicios.	Los daños anuales esperados para España por inundaciones fluviales, considerando las condiciones socioeconómicas actuales, sin adoptar medidas de adaptación y con un nivel de calentamiento de 3 °C, representarían un 0,05 % del PIB (Dottori *et al.,* 2020). El porcentaje disminuiría al 0,03 % (con severidad limitada) considerando las condiciones socioeconómicas del año 2100. Por otro lado, se proyecta una subida media del nivel del mar de entre 50 y 60 cm para 2100 (capítulo de variables climáticas).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[15] https://www.consorseguros.es/documents/10184/0/VIGESIMOPRIMERA_nota_informativa_DANA_DEFINITIVA.pdf

[16] La categoría de Comercios, almacenes y otros riesgos incluye, además de los comercios y almacenes, equipamientos como centros deportivos, centros religiosos, edificios administrativos, centros sanitarios, colegios, etc.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	Un informe de la Cámara de Comercio de Valencia (2024[17]) estimaba inicialmente daños por 4.503 M € en la industria y 1.789 M € en comercio minorista y otros servicios y actividades urbanas. Según la Confederación Empresarial de la Comunitat Valenciana (CEV, 2025)[18], como consecuencia de la dana de 2024, 63 áreas industriales (38,9 % de empresas (35,6% de la provincia) se han visto afectadas, de las que el 87 % pertenecen al sector Industria y Servicios[19] y el 99,6% son pymes. Los daños sobre el tejido productivo están valorados en 13.705 M € (20 % del PIB de la provincia de Valencia y 0,9 % del PIB nacional), de los que 4.504 M € (0,3% del PBI) corresponderían a Industria y 1.515 M € (0,1% del PBI) a Comercio. Si bien no se espera que los daños anualizados excedan del 0,1% del PIB nacional, se podría valorar la severidad como crítica porque en un evento reciente como la dana de 2024, con gran impacto social, se han estimado daños del orden del 0,4% del PIB nacional para Industria y Comercios conjuntamente.		Dado que los datos disponibles incluyen daños de un tipo de evento extremo de todos los posibles, y considerando el incremento de la amenaza, se ha considerado una severidad crítica.	Dado que los datos disponibles incluyen daños de un tipo de evento extremo de todos los posibles, y considerando el incremento de la amenaza, se ha considerado una severidad crítica.

[17] Informe de Cámara Valencia sobre daños en la industria de los 87 municipios afectados por la DANA - Cámara Valencia. https://www.camaravalencia.com/noticias/informe-de-camara-valencia-sobre-danos-en-la-industria-de-los-87-municipios-afectados-por-la-dana

[18] https://www.cev.es/wp-content/uploads/Impacto-DANA-en-Valencia-12.03.2025.pdf

[19] Se incluye servicios de transporte y hostelería.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Alto ◆◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Alto	· Alta · Medio	· Media · Medio	· Alta · Alto
	Autores de publicaciones académicas revisadas por pares (Gil-Guiraldo *et al.*, 2022; Llasat *et al.*, 2021; Mediero *et al.*, 2014) señalan factores de vulnerabilidad al aumento de las inundaciones (en número y extensión) por tormentas de tipo convectivo en cuencas pequeñas y caudales elevados en cuencas medianas y grandes. Publicaciones oficiales (WWA, 2024) destacan un aumento de los extremos de precipitaciones diarias en los últimos 75 años.	Autores de publicaciones académicas revisadas por pares (Amblar *et al.*, 2017; Valdes-Abellan *et al.*, 2017) indican un aumento de las temperaturas, especialmente en las zonas interiores y del este, lo que augura un aumento de precipitaciones extremas. Los resultados del proyecto EURO-CORDEX para España (Carvalho *et al.*, 2022) muestran un aumento de las precipitaciones máximas para 2021-2040. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2020.	Carvalho *et al.*, 2022 prevén un aumento de las precipitaciones máximas para el período 2042-2070, especialmente en las cuencas del suroeste (Tinto-Odiel), Galicia Costa, Cuencas Internas de Cataluña y Júcar. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2050.	En el periodo 2081-2100, Carvalho *et al.*, 2022 prevén un incremento importante en el porcentaje de cambio de precipitación extrema para las cuencas del Duero, Guadalquivir y Tajo. En el sureste de España se prevé un aumento de las inundaciones con periodo de retorno de 100 años entre el período de referencia (1976-2005) y 2080. El de aumento de eventos extremos en las grandes cuencas atlánticas ibéricas concuerda con los estudios publicados por Alfieri *et al.* (2017).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Mayor frecuencia de episodios de inundación fluvial y pluvial a corto plazo. • Incremento de las inundaciones costeras, como consecuencia de un aumento en la subida del nivel del mar. • Vientos intensos.	• Instalaciones industriales y de servicios.	• Diseño de las instalaciones. • Antigüedad de la instalación. • Falta de recursos para el acondicionamiento de la instalación. • Frecuencia de mantenimiento. • Conciencia de los riesgos. • Conocimiento de medidas preventivas/ medidas de alerta/ recomendaciones de respuesta inmediata. • Capacidad y proactividad en materia de adaptación al cambio climático en el sector.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	España es el quinto mayor productor industrial de la Unión Europea, y el sexto país en la clasificación comunitaria por número de ocupados en la industria (Cámara de Comercio, 2018), por lo que se espera un impacto en la industria de la UE debido a este riesgo.
Territoriales	Destacan las comunidades autónomas de Cataluña, Valencia, Andalucía y Madrid por su alta exposición, ya que concentran el mayor número de empresas industriales. Dentro del sector servicios sobresalen las comunidades de Madrid y Cataluña por su alto número de empresas destinadas al sector servicios. Además, cabe señalar a la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Internas de Cataluña, que presenta el mayor número de industrias y servicios localizados en zona inundable, así como las demarcaciones hidrográficas del Júcar, Ebro y Cantábrico Oriental. En cuanto a la vulnerabilidad debida a una menor solvencia y fortaleza financiera, entre las empresas industriales destacan las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla y las comunidades autónomas de Islas Baleares y La Rioja; y con relación a las empresas de servicios destacan Melilla, La Rioja y Cantabria.
Sociales	Grupos sociales que se verán expuestos de forma desigual: • Colectivo pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios. • Población con menos recursos debido a un potencial incremento de los precios.
Maladaptación	• La reconstrucción de las infraestructuras dañadas sin considerar en el diseño la perspectiva de cambio climático, así como apostar por medidas rígidas que no pueden ajustarse a las condiciones cambiantes, pueden dar lugar a daños recurrentes y mayores costes de operación. • Determinadas soluciones para la protección de infraestructuras industriales podrían desplazar el riesgo de inundación a otras zonas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Género	Los estudios disponibles hasta la fecha no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo. Los estudios generales del sector indican que las mujeres desarrollan su actividad mayoritariamente en el sector servicios, mientras que en la industria su presencia es relativamente baja. Del mismo modo, señalan las siguientes desigualdades (Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales, 2002; Ministerio de Trabajo y Economía Social, 2022; CCOO, 2023): • Mayor subempleo por sobrecualificación. • Discriminación salarial en comparación con otros sectores. • Una segregación ocupacional que sitúa a las mujeres en ocupaciones muy determinadas con niveles de toma de decisión muy reducidos. Por otro lado, teniendo en cuenta que la tasa de pobreza entre las mujeres (20,8 %) es más elevada que entre los hombres (19,5 %) (Alguacil *et al.,* 2024), un incremento en los precios derivado del riesgo clave descrito podría llevar a un aumento en la desigualdad en género.

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Cuando se superan las avenidas para un periodo de retorno de 500 años, que es el valor que se utiliza para determinar el riesgo de inundación en el territorio, el volumen de industrias y servicios afectados es potencialmente crítico. Aunque sean daños localizados en una zona concreta los potenciales efectos en cascada apuntan a situaciones graves para el sector industrial y servicios conexos.
Lock-in/Bloqueo	La construcción o la renovación de las infraestructuras dañadas, sin tener en cuenta la evolución de los peligros climáticos en su diseño puede limitar la capacidad de respuesta y de adaptación de la instalación.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo destaca la **Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2022** (CSRD), que obliga a las empresas de un determinado tamaño a elaborar informes anuales donde se recogen sus riesgos y medidas para adaptarse al cambio climático, entre otros aspectos, siguiendo las recomendaciones de la TCFD (BOE, 2022). A nivel nacional destaca la siguiente normativa y documentación, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias acciones que se vinculan con la gestión de este riesgo: la integración de la adaptación en la legislación sectorial y los planes de industrialización y la identificación de los riesgos de la industria española y del sector servicios derivados del cambio climático y promoción de la adopción de medidas de adaptación. • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** modifica el artículo 20.1 del texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, que contempla la prevención de riesgos derivados de eventos meteorológicos extremos sobre las infraestructuras y los servicios públicos esenciales (BOE, 2021). • Las **Directrices Generales de la Nueva Política Industrial Española 2030** incorporan entre sus medidas la potenciación de los análisis de vulnerabilidades y fortalezas de las empresas en relación con la transición ecológica y al cambio climático (MINTUR, 2019).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• El Ministerio de Industria y Turismo tiene las competencias de propuesta y ejecución de la política del Gobierno en materia de este sector. • Las empresas del sector.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Mejora en la resiliencia frente a los eventos extremos. • Reducción de costes de operación y mantenimiento. • Reducción de los riesgos en cascada identificados, como el potencial cierre de la actividad y la degradación de los medios de vida de la población afectada.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Las necesidades económicas producidas por los daños derivados de los eventos extremos pueden reducir la capacidad de la actividad en términos económicos, retrasando la implementación de tecnologías más sostenibles y ralentizando así el proceso hacia la descarbonización. • La percepción de un alto riesgo puede desalentar a los inversores de financiar proyectos, lo que podría obstaculizar el proceso de transición.
Déficits de información	• Se dispone de limitada información cuantitativa relativa al riesgo en la actualidad y en distintos escenarios de cambio climático. • No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales impactos en cascada identificados. • La información relativa al alcance espacial del riesgo, su impacto sobre la población y economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • Limitados estudios a escala nacional que midan el impacto monetario o las afectaciones humanas en daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.2. RC11.2: Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por la reducción del aporte hídrico

El siguiente riesgo priorizado es el **riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por la reducción del aporte hídrico.** El sector industrial es un gran consumidor de agua (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011; Olcina and Sotelo, 2013; INE, 2015, 2017) ya que la emplea a lo largo de sus numerosas fases de producción y operaciones. Algunos de los usos más comunes son la refrigeración, la limpieza, la generación de vapor, el lavado de materias primas y, debido a su uso como ingrediente, en la producción de alimentos y bebidas.

El motivo para considerarlo como clave, si bien se encuentra descrito en detalle en el AMC, radica en el elevado alcance que posee el riesgo en términos de extensión y población afectada, y a la alta probabilidad existente de que se materialice el riesgo a corto plazo. Adicionalmente, el riesgo incide en mayor medida sobre ciertos colectivos, como las pymes con menor número de asalariados y/o menos ingresos, así como sobre la población con menos recursos por un potencial incremento en los precios de los productos y servicios. El riesgo tiene potencial de producir impactos y riesgos en cascada (Figura 4), y, a pesar de las acciones de adaptación propuestas hasta el momento, existe una limitada capacidad de adaptación frente a este riesgo (Ficha 2). La capacidad de recuperación también es limitada, puesto que podría requerir de recursos económicos significativos si el peligro perdurase en el tiempo.

La Figura 4 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema y sobre él actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

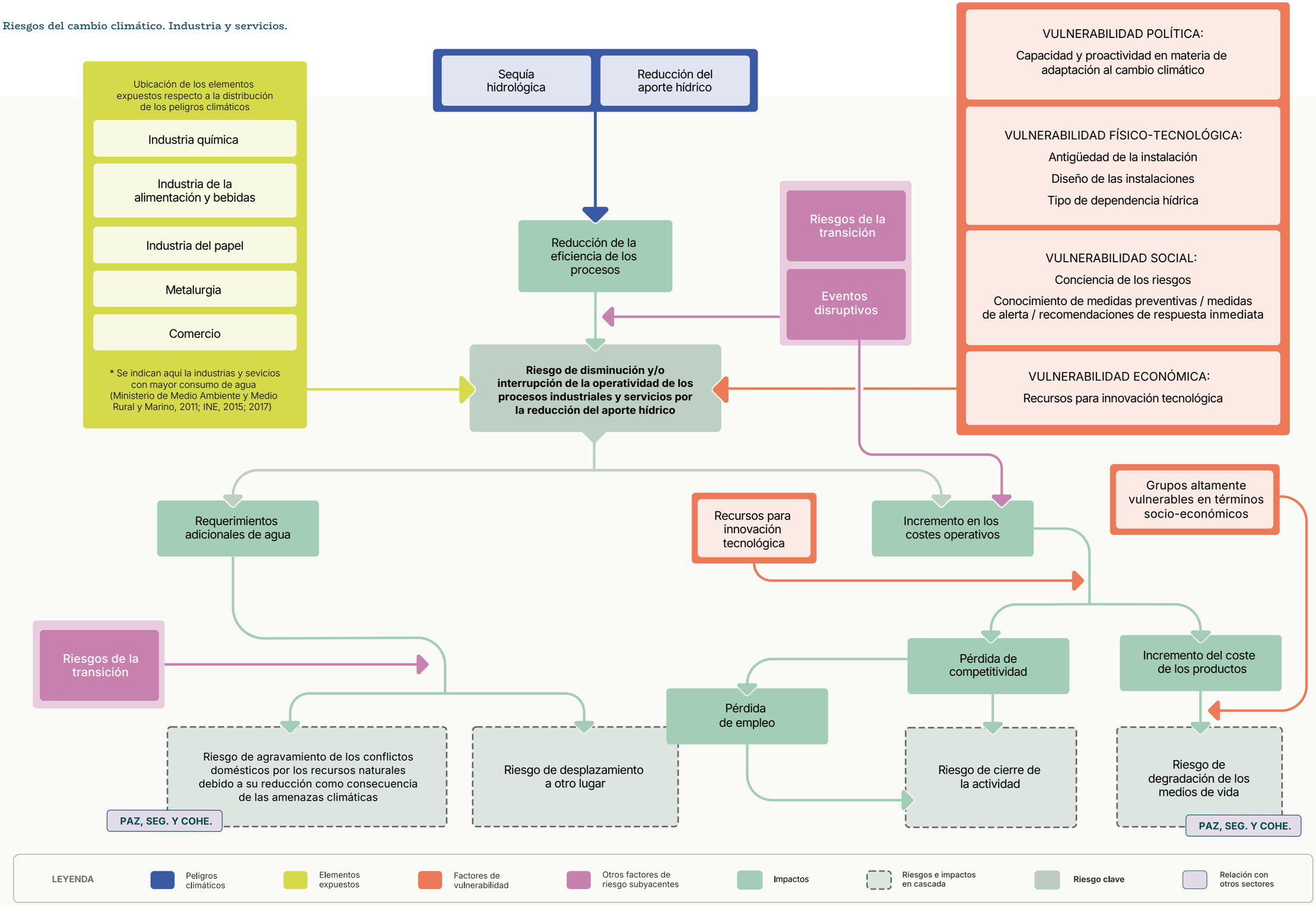


Figura 4. Cadena de impacto del riesgo clave de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico.

Tal y como indica la descripción del riesgo, el principal peligro es la falta de recurso hídrico como consecuencia principalmente de las sequías, pero también de otros fenómenos como el cambio en la calidad del agua. De acuerdo con los escenarios climáticos y las proyecciones disponibles, se augura un incremento a corto plazo de la frecuencia e intensidad de las sequías lo que dará lugar a una menor disponibilidad de agua en el país (CEDEX, 2017; Rossi *et al.,* 2023).

Esta reducción en la disponibilidad afecta en mayor medida a las industrias y servicios con mayores necesidades hídricas, entre las que destacan las industrias del papel, la química, la alimentación y bebidas, y la metalurgia/fabricación de productos metálicos por su alto consumo de agua (INE, 2015; INE, 2017; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011; Olcina Cantos and Sotelo Pérez, 2013). La localización de estas actividades, que condiciona su exposición, varía en función de cada actividad. Dentro de la industria de la alimentación y bebidas, la comunidad autónoma de Andalucía muestra el mayor número de establecimientos, seguido de Cataluña (MINTUR, 2023a). En la industria química destaca Cataluña y la Comunitat Valenciana (MINTUR, 2023b); en la metalurgia Cataluña, la Comunidad de Madrid y País Vasco (MINTUR, 2023c); y en la industria del papel la Comunidad de Madrid y Cataluña (MINTUR, 2023d)[20]. En cuanto a los comercios, las comunidades autónomas con mayor número de establecimientos son Andalucía, Cataluña y Comunidad de Madrid (INE, 2022c).

En lo que respecta a su vulnerabilidad, el tipo de diseño de las instalaciones determina la vulnerabilidad física de cada una de las actividades previamente descritas. En este sentido, aquellas que involucran en su diseño una gestión más eficiente del agua con tecnologías de ahorro de agua (p. ej., mediante la digitalización, el uso de sensores, entre otros) o la reutilización de agua son menos vulnerables. Asimismo, aquellas que dependen exclusivamente del recurso, como las actividades de la industria alimentaria que la emplean como materia prima, son más vulnerables. En lo que se refiere a su vulnerabilidad social, el desconocimiento de los riesgos, así como de las medidas de prevención o de alerta por parte de las personas dueñas de las industrias y los servicios, incrementa también la vulnerabilidad de las actividades.

También en términos económicos, el tamaño, número de empleados y volumen de negocios de cada actividad condiciona su vulnerabilidad. Las pymes, que son el colectivo mayoritario en el sector, son las que presentan una mayor vulnerabilidad, y dentro de las pymes, aquellas sin asalariados ya que son las que menos ingresan (MINTUR, 2024b), y, por consiguiente, disponen de menos recursos económicos para la adopción de tecnologías de ahorro y reutilización de agua. De acuerdo

[20] Los datos corresponden al sector del papel, artes gráficas y reproducción de soportes grabados.

con las presentaciones sectoriales elaboradas por el MINTUR[21], esta vulnerabilidad dependerá de cada actividad. Dentro de la industria alimentaria, las Islas Baleares, Extremadura y La Rioja muestran empresas de menor tamaño y menor cifra de negocios (MINTUR, 2023a); en la industria química destacan Canarias, Islas Baleares y Extremadura (MINTUR, 2023b); en la metalurgia son Canarias, Islas Baleares y Murcia (MINTUR, 2023c); y en la de papel están Canarias, Islas Baleares y Extremadura (MINTUR, 2023d). En cuanto a los comercios, las comunidades autónomas con menos ingresos y asalariados se corresponden con Ceuta, Melilla y La Rioja (INE, 2023b).

Fruto de la combinación del peligro, la exposición y la vulnerabilidad, previamente descrita, se ha observado como impacto la reducción de la eficiencia de los procesos y, como resultado de este impacto, el riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios. De hecho, recientemente, la operatividad de determinadas industrias españolas se vio afectada por la situación de sequía de larga duración que padeció, entre otras, la comunidad autónoma de Cataluña entre finales de 2022 y mediados de 2024. Como resultado, en junio de 2024, la Agencia Catalana del Agua[22], con motivo de la sequía, activó la alerta por escasez, reduciendo los consumos de agua de los usuarios industriales en un 5 %, lo que supuso una reducción de su operatividad.

Por otro lado, este riesgo, por la necesidad de asegurar el suministro de agua, podría desencadenar el desplazamiento de la actividad a otro lugar. Además, existe un riesgo de agravamiento de conflictos domésticos por los recursos naturales (riesgo relevante identificado también dentro del sector *Paz, seguridad y cohesión social.* También podría dar lugar a un incremento de los costes operativos derivado de la necesidad de adoptar técnicas de gestión eficientes de agua. Como resultado, podría desencadenar, por un lado, una pérdida de competitividad de la actividad y, a su vez, el cierre de la instalación, y, por otro lado, provocar un aumento en el precio de los productos y desencadenar un riesgo de destrucción o degradación de los medios de vida, que impactaría en mayor medida a la población con menos recursos (riesgo relevante identificado también dentro del sector *Paz, seguridad y cohesión social*).

Finalmente, el riesgo podría verse afectado por otros factores de riesgo subyacentes, como son los riesgos de la transición o eventos de *cisne negro*. En concreto, los riesgos regulatorios y tecnológicos podrían incrementar los costes de operación. Las empresas, a su vez, podrían verse expuestas a riesgos reputacionales, los cuales podrían deteriorar su relación con los clientes. Además, los eventos disruptivos o de *cisne negro* podrían impactar también de forma significativa en la actividad a lo largo de toda la cadena de impacto.

[21] Las presentaciones sectoriales elaboradas por el MINTUR no tienen en cuenta Ceuta y Melilla.

[22] https://www.aiguesdebarcelona.cat/es/estado-actual-sequia

Ficha 2. Análisis del riesgo de disminución de la operatividad de los procesos industriales y servicios por desabastecimiento de agua debido a eventos de estrés hídrico.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	En Europa se estiman en 1.548 M € por año los daños que diferentes peligros climáticos ocasionan en las infraestructuras críticas industriales (metalúrgicas, mineras, químicas, refinerías y sistemas de tratamiento de agua y residuos) (Forzieri *et al.,* 2018a), de los que 271 M € (17,4 %) se atribuirían a sequías. Otro estudio europeo del JRC, a través de PESETA IV (Cammalleri *et al.,* 2020[23]), estima que, globalmente, las pérdidas anuales actuales por sequía en España son de 1.500 millones de euros al año (0,1% del PIB). No obstante, la horquilla de las posibles pérdidas es amplia, entre 700 (0,05 % del PIB) y 3.000 millones de euros (0,2 % del PIB). Las cifras reales en periodos de sequía	Según Forzieri et al. (2018a), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2011–2040 serían de 3.988 M €, debiéndose casi la mitad a sequías (48,3 %). Desde PESETA IV (Cammalleri et al., 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en las condiciones económicas similares a las actuales (año millones de euros. Esto representa un incremento medio del 7 %, que en el caso de España equivaldrían a 1.600 millones de euros (0,11 % del PIB).	Según Forzieri *et al.* (2018a), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2041–2070 serían de 8.695 M €, debiéndose la mayor parte a sequías (57,5 %). Desde PESETA IV (Cammalleri *et al.,* 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en las condiciones económicas similares a las actuales (año 2015), será de 12.200 millones de euros. Esto representa un incremento medio de casi el 35 %, que en el caso de España equivaldrían a 2.025 millones de euros (0,14 % del PIB). Sin embargo, en una situación económica	Según Forzieri *et al.* (2018a), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2071–2100 serían de 16.237 M € (horquilla entre 9.900 y 22.500 M €), atribuyéndose especialmente a sequías (56,2 %). Desde PESETA IV (Cammalleri *et al.,* 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en las condiciones económicas similares a las actuales (año 2015), y con un nivel de calentamiento de 3 °C, será de 17.300 millones de euros. Esto representa un incremento medio

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[23] Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., De Roo, A. and Feyen, L., Global warming and drought impacts in the EU, EUR 29956 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-12947-9, doi:10.2760/597045, JRC118585. JRC Publications Repository - Global warming and drought impacts in the EU.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	relevantes, como en el año 2023, pueden ser incluso muy superiores a las estimadas en el estudio a escala europea. Según un estudio de AON[24], se valoraron en 5.500 millones de euros (0,37 % del PIB). Según el Informe sobre la Gestión de la Sequía en 2023 (MITECO, 2023)[25] ese año el 14,6 % del territorio nacional estaba en situación de emergencia y el 27,4 % en alerta por escasez de agua.		futura (año 2050) la cifra en Europa se elevaría a 15.500 millones de euros (incremento del 71 %), correspondiendo aproximadamente a España 2.570 millones de euros (0,17 % del PIB).	del 90,7 %, que en el caso de España equivaldrían a 2.860 millones de euros (0,19 % del PIB). Sin embargo, en una situación económica futura (año 2100) la cifra en Europa se dispararía a 45 mil millones de euros (incremento del 402 %), correspondiendo aproximadamente a España 7.530 millones de euros (0,5 % del PIB).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[24] Europa Press, 2024. https://www.europapress.es/economia/finanzas-00340/noticia-sequia-2023-genero-unsa-perdidas-economicas-espana-5500-millones-aon-20240208145456.html

[25] https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2023/09/el-14-6--del-territorio-esta-en-emergencia-por-escasez-de-agua-y.html

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio
	Limitados estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general, y no específicamente a cómo puede afectar la falta de agua a la operatividad de los procesos industriales y/o de servicios. Algunas estimaciones europeas corresponden a escenarios de emisiones (A1B) previos a los Informes de Evaluación AR5 y AR6 del IPCC.	Limitados estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general. Algunas estimaciones europeas corresponden a escenarios de emisiones (A1B) previos a los Informes de Evaluación AR5 y AR6 del IPCC. No se ha identificado información sobre la evolución del VBA del sector.	Limitados estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general. Algunas estimaciones europeas corresponden a escenarios de emisiones (A1B) previos a los Informes de Evaluación AR5 y AR6 del IPCC. No se ha identificado información sobre la evolución del VBA del sector.	Limitados estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general. Algunas estimaciones europeas corresponden a escenarios de emisiones (A1B) previos a los Informes de Evaluación AR5 y AR6 del IPCC. No se ha identificado información sobre la evolución del VBA del sector, aunque en un contexto de crecimiento económico, debido a que los activos expuestos a las sequias tendrían mayor valoración económica, los daños serían mayores en términos absolutos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incremento en el número de días secos y en el máximo de número de días secos consecutivos (visor de escenarios climáticos de AdapteCCa). • Sequías cada vez más frecuentes (CEDEX, 2017). • Disminución en el indicador SPEI (proxy de la disponibilidad del agua) para toda España (Rossi *et al.*, 2023).	• Industria alimentaria. • Industria de la madera y corcho. • Industria química. • Fabricación de productos farmacéuticos. • Fabricación de caucho y plásticos. • Comercio.	• Diseño de la instalación. • Antigüedad de la instalación. • Tipo de dependencia hídrica. • Recursos para la innovación tecnológica. • Capacidad y proactividad en materia de adaptación. • Conocimiento de medidas preventivas/ medidas de alerta / recomendaciones de respuesta inmediata. • Conciencia de los riesgos.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La interrupción de los procesos industriales y servicios puede afectar al comercio internacional de manera directa y reducir la competitividad de la actividad a nivel internacional. Las actividades con mayor capacidad exportadora corresponden a la industria de la alimentación, bebidas y tabaco, la química y metalurgia (MINTUR, 2023a).
Territoriales	Destacan las comunidades autónomas de Cataluña, Comunitat Valenciana, Andalucía, Comunidad de Madrid y País Vasco por su alta exposición ya que concentran, en general, el mayor número de empresas. Destacan las comunidades autónomas de Islas Baleares, Canarias y Extremadura por su alta vulnerabilidad en términos económicos al presentar un menor tamaño y menor cifra de negocios en general.
Sociales	Grupos sociales que se verán expuestos de forma desigual: • Colectivo pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios. • Población con menos recursos debido a un potencial incremento de los precios.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	• Sustitución del agua en los procesos de refrigeración por sistemas de enfriamiento en seco, lo que permite ahorrar agua, pero implica un mayor consumo energético y, en consecuencia, un aumento de las emisiones de GEI. • La implantación de procesos de reducción del consumo del agua puede afectar a la calidad de los productos y reducir su vida útil; por ejemplo, en la industria textil, un menor uso de agua en el lavado y teñido puede provocar acabados de inferior calidad o pérdida de resistencia en las fibras.
Género	Los estudios disponibles no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo. Los estudios generales del sector indican que las mujeres desarrollan su actividad mayoritariamente en el sector servicios, mientras que en la industria su presencia es relativamente baja. Del mismo modo, señalan las siguientes desigualdades (Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales, 2002; Ministerio de Trabajo y Economía Social, 2022; CCOO, 2023): • Mayor subempleo por sobrecualificación. • Discriminación salarial en comparación con otros sectores. • Una segregación ocupacional que sitúa a las mujeres en ocupaciones muy determinadas con niveles de toma de decisión muy reducidos. Por otro lado, teniendo en cuenta que la tasa de pobreza entre las mujeres (20,8 %) es más elevada que entre los hombres (19,5 %) (Alguacil *et al.*, 2024), un incremento en los precios derivado del riesgo clave descrito podría llevar a un aumento en la desigualdad de género.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	La activación de situaciones de alerta y emergencia en el marco de los Planes Especiales de Sequía, y su prolongación en el tiempo, suponen restricciones en el suministro de agua que pueden afectar gravemente a la actividad industrial.
Lock-in/Bloqueo	En muchos casos las instalaciones y procesos industriales requieren una inversión significativa que se amortiza a medio-largo plazo. Por ello, inversiones recientes no adaptadas a estrés hídrico pueden sufrir un riesgo de bloqueo, al requerir inversiones adicionales que aumentan el periodo de retorno, entendido como el tiempo que tarda una inversión en recuperar su coste inicial.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	En el marco internacional se desarrolla la **norma ISO 14046: Gestión de la Huella Hídrica**, que proporciona un marco para la evaluación de la huella hídrica de un producto, proceso u organización. Esta certificación ayuda a las pymes a identificar áreas de mejora en su uso del agua y a implementar estrategias para reducir su impacto (ISO, 2014). A nivel europeo destaca la **Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2022** (CSRD), que obliga a las empresas de un determinado tamaño a elaborar informes anuales donde se recogen, entre otros aspectos, sus riesgos y medidas para adaptarse al cambio climático, siguiendo las recomendaciones de la TCFD (BOE, 2022). A nivel nacional destaca la siguiente normativa, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias acciones que se vinculan con la gestión de este riesgo: la integración de la adaptación en la legislación sectorial y los planes de industrialización y la identificación de los riesgos de la industria española y del sector servicios derivados del cambio climático y promoción de la adopción de medidas de adaptación. • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** modifica el artículo 20.1 del texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, que contempla la prevención de riesgos derivados de eventos meteorológicos extremos sobre las infraestructuras y los servicios públicos esenciales (BOE, 2021). • El MITECO ha desarrollado **Planes Especiales de Sequía (PES)** que se implementan a nivel de cuenca hidrográfica y tienen como objetivo mejorar la gestión de recursos hídricos durante los periodos de sequía (BOE, 2018). • En 2020 el MITECO publicó el **Libro Verde de la Gobernanza del Agua en España** con el fin de lograr la mejora ambiental que permita asegurar la disponibilidad de agua, en cantidad y calidad, para las personas y para las actividades económicas que dependen de ella (MITECO, 2020). • En línea con el ODS 6.4, la **Estrategia Internacional del Agua** del MITECO, publicada en 2023, incluye, entre sus objetivos estratégicos, promover el uso eficiente del agua con el fin de reducir el riesgo de estrés hídrico (DGA, 2023). • En 2023 el MITECO aprobó los **Planes Hidrológicos para el periodo 2022-2027** del tercer ciclo de planificación hidrológica, que incluyen medidas específicas para garantizar el abastecimiento de agua como el seguimiento de los indicadores de sequía y escasez o la elaboración de planes de emergencia antes situaciones de sequía (BOE, 2023). • Las **Directrices Generales de la Nueva Política Industrial Española 2030** incorporan entre sus medidas la potenciación de los análisis de vulnerabilidades y fortalezas de las empresas en relación con la transición ecológica y el cambio climático (MINTUR, 2019). • La **Agenda Sectorial elaborada dentro del Marco Estratégico para la industria química** configura la hoja de ruta a medio y largo plazo para mejorar la competitividad del sector e incluye medidas relativas al cambio climático. La Agenda Sectorial del resto de sectores descritos en este apartado aún no han sido elaboradas por parte del Ministerio de Industria y Turismo. • La Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE) ha elaborado un **informe sobre el agua en España: situación actual, retos y oportunidades**, que recoge recomendaciones al sector empresarial en relación con la gestión y uso eficiente del agua (CEOE, 2023).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• Las Confederaciones Hidrográficas de cada cuenca poseen personalidad jurídica propia, están adscritas a efectos administrativos al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Dirección General del Agua, como organismo autónomo con plena autonomía funcional. • Ministerio de Industria y Turismo. • Las empresas. • Comunidades autónomas. • Municipios.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Ahorro y mejora de la eficiencia del agua. • Reducción de los costes operativos. • Conservación de las relaciones comerciales nacionales e internacionales. • Mantenimiento de puestos de trabajo en el sector. • Reducción de los riesgos en cascada identificados: el potencial agravamiento de los conflictos domésticos por los recursos naturales, el desplazamiento del riesgo a otro lugar, el cierre de la actividad y la degradación de los medios de vida.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • La disminución y/o interrupción de los procesos puede reducir la capacidad de la actividad en términos económicos, retrasando la implementación de tecnologías más sostenibles y ralentizado así el proceso hacia la descarbonización. • La percepción de un alto riesgo puede desalentar a los inversores de financiar proyectos, lo que podría obstaculizar el proceso de transición. • Las acciones de adaptación contempladas para la reducción del riesgo, que implican una inversión en infraestructuras de agua para la mejora en el ahorro y en su eficiencia, contribuirían a la descarbonización. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • El incremento de los costes eléctricos derivados del cambio climático puede incrementar el vaciado de los embalses con fines hidroeléctricos e incrementar la competencia por el recurso hídrico. • El fomento de determinadas tecnologías (hidrógeno, biocombustibles) y procesos (p. ej., reutilización de envases) puede aumentar la demanda de agua e incrementar la competencia sobre el recurso.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Déficits de información	• Se dispone de limitada información cuantitativa relativa al riesgo en la actualidad y en distintos escenarios de cambio climático. • No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales impactos en cascada identificados. • La información relativa al consumo de agua del sector tanto de la industria como de los servicios es limitada. • La información relativa al alcance espacial del riesgo y su impacto sobre la población y economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.3. RC11.3. Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por temperaturas extremas

El **riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por temperaturas extremas** es el tercero de los riesgos considerados como clave dentro del sector. En general, este sector dispone de actividades con instalaciones, que operan al aire libre, y que han sido diseñadas para determinados rangos de operación, por lo que su funcionamiento se ve condicionado por los cambios en la temperatura. Del mismo modo, el sector involucra a otro tipo de actividades, cuyas instalaciones internas pueden verse expuestas al sobrecalentamiento de los equipos durante eventos de calor extremo.

El motivo para caracterizarlo como clave (descrito en detalle en el AMC) se debe al elevado alcance que posee el riesgo en términos de extensión y población afectada, a su alta probabilidad de ocurrencia a corto plazo y a su capacidad para incidir sobre ciertos colectivos, como son las pymes con menor número de asalariados y/o menos ingresos. El riesgo no solo refleja el potencial de generar impactos y desencadenar efectos en cascada (Figura 5), sino que además pone de manifiesto la limitada capacidad de adaptación existente, pese a las acciones ya propuestas (Ficha 3). Asimismo, la capacidad de recuperación ante la materialización del riesgo resulta reducida, dado que podría requerirse una inversión económica considerable para acondicionar las instalaciones y mantener la operación.

La Figura 5 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema y sobre él actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

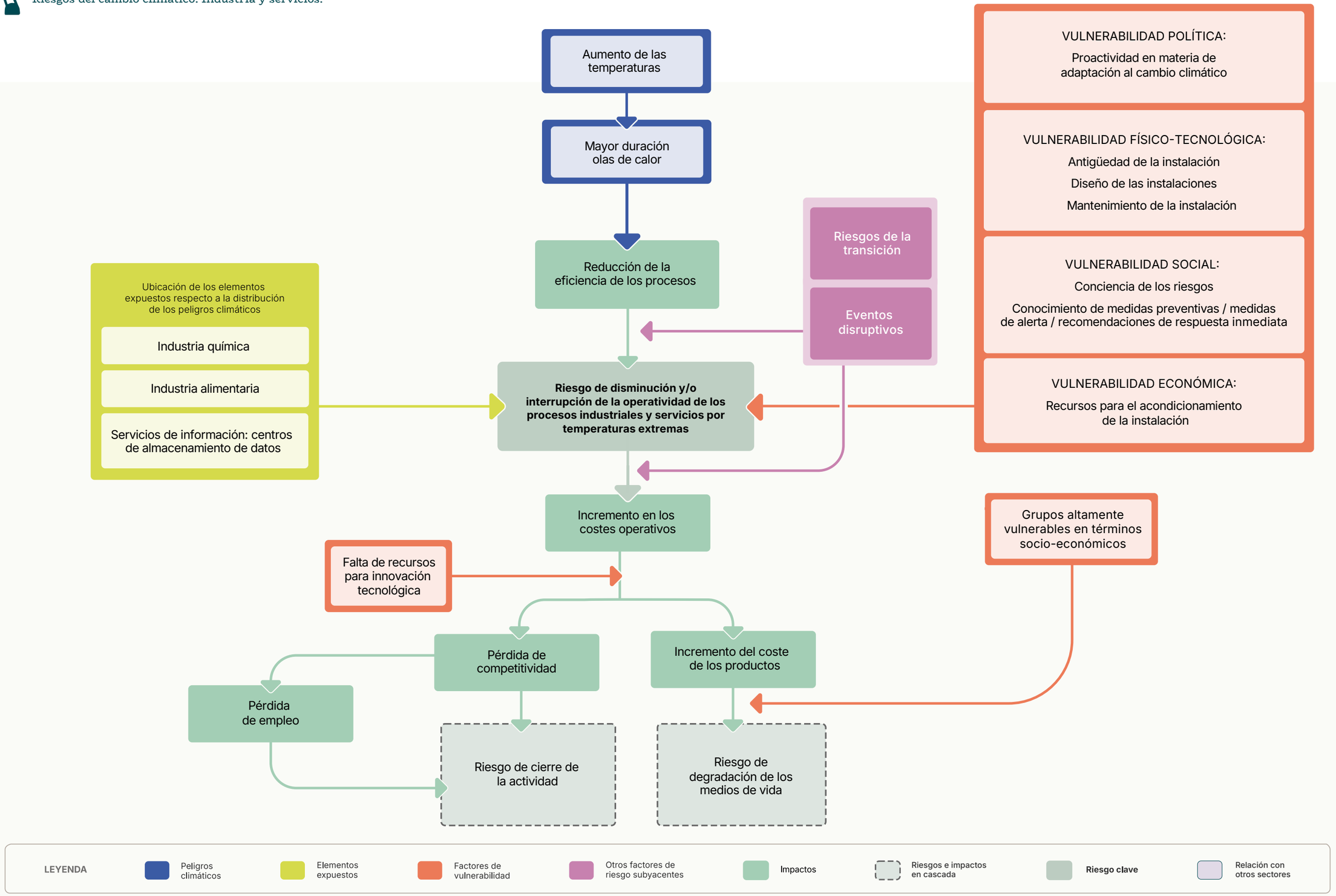


Figura 5. Cadena de impacto del riesgo clave de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por temperaturas extremas

El incremento previsto en las temperaturas a lo largo de este siglo es el principal **peligro** que desencadena este riesgo clave. De acuerdo con los escenarios disponibles en AEMET (2017) y en el visor de escenarios de la plataforma AdapteCCa, se augura un incremento de 1,01 °C y de 1,2 °C bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente, para el periodo futuro cercano (2011-2040), y de 1,93 °C y 2,63 °C para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente, para un futuro medio (2041-2070). Fruto de este aumento, se espera, además, una mayor duración de las olas de calor, que será superior en el mediterráneo respecto al resto del territorio nacional para ambos escenarios climáticos. Las heladas, por su parte, también tienen el potencial de generar este impacto; sin embargo, no se consideran en el esquema ya que se prevé una disminución en su comportamiento con una evolución muy similar entre los escenarios climáticos hasta 2050.

Dentro del sector industrial, la industria química como la alimentaria son de las principales actividades **expuestas** ante estos peligros climáticos, ya que gran parte de sus instalaciones operan en el exterior. En cuanto a los servicios, destacan los centros de almacenamiento, grandes generadores de calor y consumidores de energía, en los cuales el sobrecalentamiento es un riesgo crítico. Estas instalaciones se encuentran distribuidas por todo el país; sin embargo, la industria alimentaria tiene una mayor concentración en las comunidades autónomas de Andalucía y Cataluña (MINTUR, 2023a), la industria química en Cataluña y la Comunitat Valenciana (MINTUR, 2023b), y el almacenamiento de datos en la Comunidad de Madrid (SPAINDC, 2021).

La **vulnerabilidad** de estas instalaciones se ve condicionada por aspectos físicos como el tiempo transcurrido desde que se construye, las prescripciones consideradas en su diseño y la forma en la que las instalaciones se han ido manteniendo y conservando. En 2016 el 50 % de las empresas de la industria alimentaria tenía más de 15 años (Claver-Cortes *et al.,* 2018), y en el año 2017 la antigüedad del 42,2 % de las empresas de la industria química (contabilizando aquellas sin asalariados) era igual o superior a los 20 años (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2019). Esta antigüedad de las instalaciones, por lo general, refleja diseños con estándares que no consideraban la perspectiva del cambio climático, por lo que son más susceptibles al incremento de las temperaturas y disponen de una menor capacidad para adoptar nuevas tecnologías. Por el contrario, la gran mayoría de los centros de almacenamiento de datos son relativamente recientes (Spain DC Asociación Española de Data Centers, 2023); por tanto, su vulnerabilidad, en este sentido, es menor.

En lo que se refiere a su vulnerabilidad social, el desconocimiento, tanto de los riesgos derivados de las altas temperaturas como de las medidas de prevención o de alerta por parte de las personas dueñas de las industrias y los servicios, incrementa la vulnerabilidad de estas actividades. En términos económicos, además, influyen aspectos como el tamaño, número de empleados y volumen de negocios de la actividad. Las pymes con menor número de asalariados son las que presentan una mayor vulnerabilidad, puesto que disponen de una menor capacidad económica

para la adopción de tecnologías que permiten el correcto funcionamiento de la actividad. Dentro de la industria alimentaria, las comunidades autónomas de Islas Baleares, Extremadura y La Rioja muestran empresas de menor tamaño y menor cifra de negocios (MINTUR, 2023a), mientras que en la industria química destacan las comunidades autónomas de Canarias, Islas Baleares y Extremadura (MINTUR, 2023c). En cuanto a los centros de almacenamiento de datos, no se dispone de dicha información.

La interacción del peligro, la exposición y la vulnerabilidad previamente descrita desencadena como **impacto** la reducción de la eficiencia de los procesos y, como consecuencia de este impacto, el **riesgo** de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios. En los últimos años, la industria química ha padecido este riesgo y ha visto necesario acondicionar las instalaciones exteriores que se han quedado fuera de los rangos de temperatura previstos mediante la instalación de camisas de refrigeración en los dispositivos o cubriendo las instalaciones.

Por otro lado, este riesgo podría desencadenar, como **potencial impacto**, el incremento de los costes operativos derivado de la necesidad acondicionar los dispositivos, y, como resultado de este impacto, podría perderse la competitividad de la actividad y derivar en el riesgo de cierre de la instalación. Asimismo, el incremento de los costes podría provocar un aumento en el precio de los productos y desencadenar, como consecuencia, un riesgo de destrucción o degradación de los medios de vida, que impactaría en mayor medida a la población con menos recursos (riesgo relevante identificado también dentro del sector *Paz, seguridad y cohesión social.*

Finalmente, el riesgo podría verse afectado por otros **factores de riesgo subyacentes,** como son los riesgos de la transición o eventos de cisne negro. En concreto, los riesgos regulatorios y tecnológicos podrían incrementar los costes de operación y los eventos de cisne negro podrían impactar también de forma significativa en la actividad a lo largo de toda la cadena de impacto.

Ficha 3. Resumen del riesgo de disminución de la operatividad de los procesos industriales y servicios por las temperaturas extremas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Sustancial	Crítica	Crítica
	En un estudio a escala europea (Forzieri *et al.*, 2018a) se estiman en 1.548 M € por año los daños que diferentes peligros climáticos ocasionan en las infraestructuras críticas industriales (metalúrgicas, mineras, químicas, refinerías y sistemas de tratamiento de agua y residuos). De estos daños solo el 7,1 % serían debidos a olas de calor (105 M€ - 0,007 % del PIB), muy lejos del 46,5 % que relacionaría con inundaciones fluviales, el peligro más importante durante este periodo.	Según Forzieri *et al.* (2018a), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2011–2040 serían de 3.988 M €, de los que el 27,7 % (1004 M€ - 0,067 % del PIB) se atribuiría a las olas de calor.	Según Forzieri *et al.* (2018a), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2041–2070 serían de 8.695 M €, debiéndose el 30,4 % a olas de calor (2643 M €- 0,1762 del PIB).	Según Forzieri *et al.* (2018a), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2071–2100 serían de 16.237 M € (horquilla entre 9.900 y 22.500 M €), atribuyéndose el 32 % a las olas de calor (5195 M € - 0,346 del PIB).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio	· Baja · Medio
	No se han identificado datos específicos sobre cómo pueden afectar las temperaturas extremas a la operatividad de los procesos industriales. Algunas estimaciones a escala europea corresponden a escenarios de emisiones (A1B) previos a los Informes de Evaluación AR5 y AR6 del IPCC.	No se han identificado datos específicos sobre cómo pueden afectar las temperaturas extremas a la operatividad de los procesos industriales. Algunas estimaciones a escala europea corresponden a escenarios de emisiones (A1B) previos a los Informes de Evaluación AR5 y AR6 del IPCC.	No se han identificado datos específicos sobre cómo pueden afectar las temperaturas extremas a la operatividad de los procesos industriales. Algunas estimaciones a escala europea corresponden a escenarios de emisiones (A1B) previos a los Informes de Evaluación AR5 y AR6 del IPCC.	No se han identificado datos específicos sobre cómo pueden afectar las temperaturas extremas a la operatividad de los procesos industriales. Algunas estimaciones a escala europea corresponden a escenarios de emisiones (A1B) previos a los Informes de Evaluación AR5 y AR6 del IPCC.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Aumento de las temperaturas extremas (visor de escenarios climáticos de AdapteCCa). • Incremento de la duración de las olas de calor (visor de escenarios climáticos de AdapteCCa).	• Industria química. • Industria alimentaria. • Servicios de información: centro de almacenamiento de datos.	• Diseño de la instalación. • Antigüedad de la instalación. • Mantenimiento de la instalación. • Recursos para el acondicionamiento de la instalación. • Conciencia de los riesgos. • Conocimiento de medidas preventivas/ medidas de alerta/ recomendaciones de respuesta inmediata. • Capacidad y proactividad en materia de adaptación en el sector.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La interrupción de los procesos industriales y servicios puede afectar al comercio internacional de manera directa y reducir la competitividad de la actividad a nivel internacional. La industria química, así como la alimentaria, muestran una alta capacidad exportadora (MINTUR, 2023a).
Territoriales	• Destacan las comunidades autónomas de Cataluña, Valencia, Andalucía y Madrid por su alta exposición, ya que concentran el mayor número de empresas. • Destacan las comunidades de Islas Baleares, Canarias, Extremadura y La Rioja por su alta vulnerabilidad en términos económicos, al presentar menor tamaño y menor cifra de negocios.
Sociales	Grupos sociales que se verán expuestos de forma desigual: • Colectivo pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios. • Población con menos recursos debido a un potencial incremento de los precios.
Maladaptación	El uso de aire acondicionado principalmente empleado en los centros de almacenamiento de datos contribuye a un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero.
Género	Los estudios disponibles no integran el enfoque género con respecto a este riesgo. Los estudios generales del sector indican que las mujeres desarrollan su actividad mayoritariamente en el sector servicios, mientras que en la industria su presencia es relativamente baja. Del mismo modo, señalan las siguientes desigualdades (Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales, 2002; Ministerio de Trabajo y Economía Social, 2022; CCOO, 2023): • Mayor subempleo por sobrecualificación. • Discriminación salarial en comparación con otros sectores. • Una segregación ocupacional que sitúa a las mujeres en ocupaciones muy determinadas con niveles de toma de decisión muy reducidos. Por otro lado, teniendo en cuenta que la tasa de pobreza entre las mujeres (20,8 %) es más elevada que entre los hombres (19,5 %) (Alguacil *et al.,* 2024), un incremento en los precios derivado del riesgo clave descrito podría llevar a un aumento en la desigualdad en género.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	El umbral de temperatura establecido varía en función de la actividad: • Para el caso de los centros de almacenamiento de datos, de acuerdo con la entidad ASHRAE *(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)* a temperaturas superiores a 32 °C se afectaría al correcto funcionamiento de la actividad. • Para el caso de la industria química y alimentaria no se dispone de la información.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Lock-in/Bloqueo	En muchos casos, las instalaciones y procesos industriales requieren una inversión significativa que se amortiza a medio-largo plazo. Por ello, inversiones recientes no adaptadas a temperaturas extremas pueden sufrir un riesgo de bloqueo, al requerir inversiones adicionales que aumentan el periodo de retorno.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo destaca la **Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2022** (CSRD), que obliga a las empresas de un determinado tamaño a elaborar informes anuales donde se recogen, entre otros aspectos, sus riesgos y medidas para adaptarse, siguiendo las recomendaciones de la TCFD (BOE, 2022). A nivel nacional destaca la siguiente normativa y documentación, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el **PNACC** se recogen varias acciones que se vinculan con la gestión del presente riesgo: la integración de la adaptación en la legislación sectorial y los planes de industrialización, y la identificación de los riesgos de la industria española y del sector servicios derivados del cambio climático y promoción de la adopción de medidas de adaptación. • La **Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética de España** modifica el artículo 20.1 del texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, que contempla la prevención de riesgos derivados de eventos meteorológicos extremos sobre las infraestructuras y los servicios públicos esenciales (BOE, 2021). • Las **Directrices Generales de la Nueva Política Industrial Española 2030** incorporan entre sus medidas la potenciación de los análisis de vulnerabilidades y fortalezas de las empresas en relación con la transición ecológica y al cambio climático (MINTUR, 2019). • La **Agenda Sectorial elaborada dentro del Marco Estratégico para la industria química** configura la hoja de ruta a medio y largo plazo para mejorar la competitividad del sector e incluye medidas relativas al cambio climático. La Agenda Sectorial del resto de sectores descritos en este apartado aún no han sido elaboradas por parte del Ministerio de Industria y Turismo. • La Red Española de Ciudades por el Clima, en colaboración con la Oficina Española de Cambio Climático, han elaborado una **Guía para la elaboración de políticas municipales y planes locales de actuación ante altas temperaturas**, en la que se proponen medidas de adaptación para un ámbito local identificando, entre sus principales agentes de acción, a los., polígonos industriales (OECC, 2024b).
Gobernanza de gestión del riesgo	• Ministerio de Industria y Turismo. • Las empresas. • Los servicios de prevención.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Mejora de la eficiencia de los procesos. • Reducción de los costes operativos. • Conservación de las relaciones comerciales nacionales e internacionales. • Mantenimiento de puestos de trabajo en el sector. • Reducción de los riesgos en cascada identificados, que corresponden con el potencial cierre de la actividad y la degradación de los medios de vida.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • La disminución y/o interrupción en de los procesos puede reducir la capacidad de la actividad en términos económicos, retrasando la implementación de tecnologías más sostenibles y ralentizado así el proceso hacia la descarbonización. • La percepción de un alto riesgo puede desalentar a los inversores de financiar proyectos, lo que podría obstaculizar el proceso de transición.
Déficits de información	• Se dispone de información cuantitativa muy limitada relativa al riesgo según los escenarios actual y de cambio climático. • No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales impactos en cascada identificados. • La información sobre los umbrales críticos es limitada. • La información relativa al alcance espacial del riesgo y su impacto sobre la población y economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.4. RC11.4. Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstos dependen de las condiciones climáticas

El último riesgo clave hace referencia al **riesgo de reducción en la disponibilidad de las materias primas dependientes del clima y el potencial incremento de los precios de los bienes y servicios, como consecuencia de esta disminución** (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2022).

La industria alimentaria, encargada del tratamiento, transformación, preparación, conservación y envasado de los productos alimenticios, es la principal actividad que se ve afectada por este riesgo clave. Las materias primas que requiere, que proceden de explotaciones agrícolas, ganaderas y forestales, se ven fuertemente condicionadas por el cambio climático (European Commission *et al.*, 2020; EEA, 2024b). De acuerdo con el informe anual elaborado por el MAPA (2023), la industria de la alimentación y bebidas es la principal actividad de la industria manufacturera ya que representa el 23,3 % del sector, ocupando más de medio millón de personas con 28.335 empresas y contribuyendo al 2,3 % del PIB de España.

La razón por la que se considera este riesgo clave (ver AMC para más detalles) radica en su amplio alcance en términos de extensión y población afectada, su alta probabilidad de ocurrencia a corto plazo y su capacidad para impactar significativamente a ciertos grupos, como las pymes con menos empleados y/o ingresos. Además, este riesgo tiene el potencial de generar impactos y riesgos en cadena (**Figura 6**) y se dispone de una capacidad limitada para adaptarse frente a este riesgo a pesar de las acciones de adaptación propuestas hasta ahora (**Ficha 4**) . Además, se tiene una capacidad limitada de recuperación en caso de materializarse el riesgo, ya que podría necesitar recursos económicos considerables para gestionarlo.

La **Figura 6** ilustra la cadena de impacto de este riesgo clave, mostrando sus componentes (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos resultantes de estos elementos. El riesgo clave se encuentra en el centro del esquema, y sobre él actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

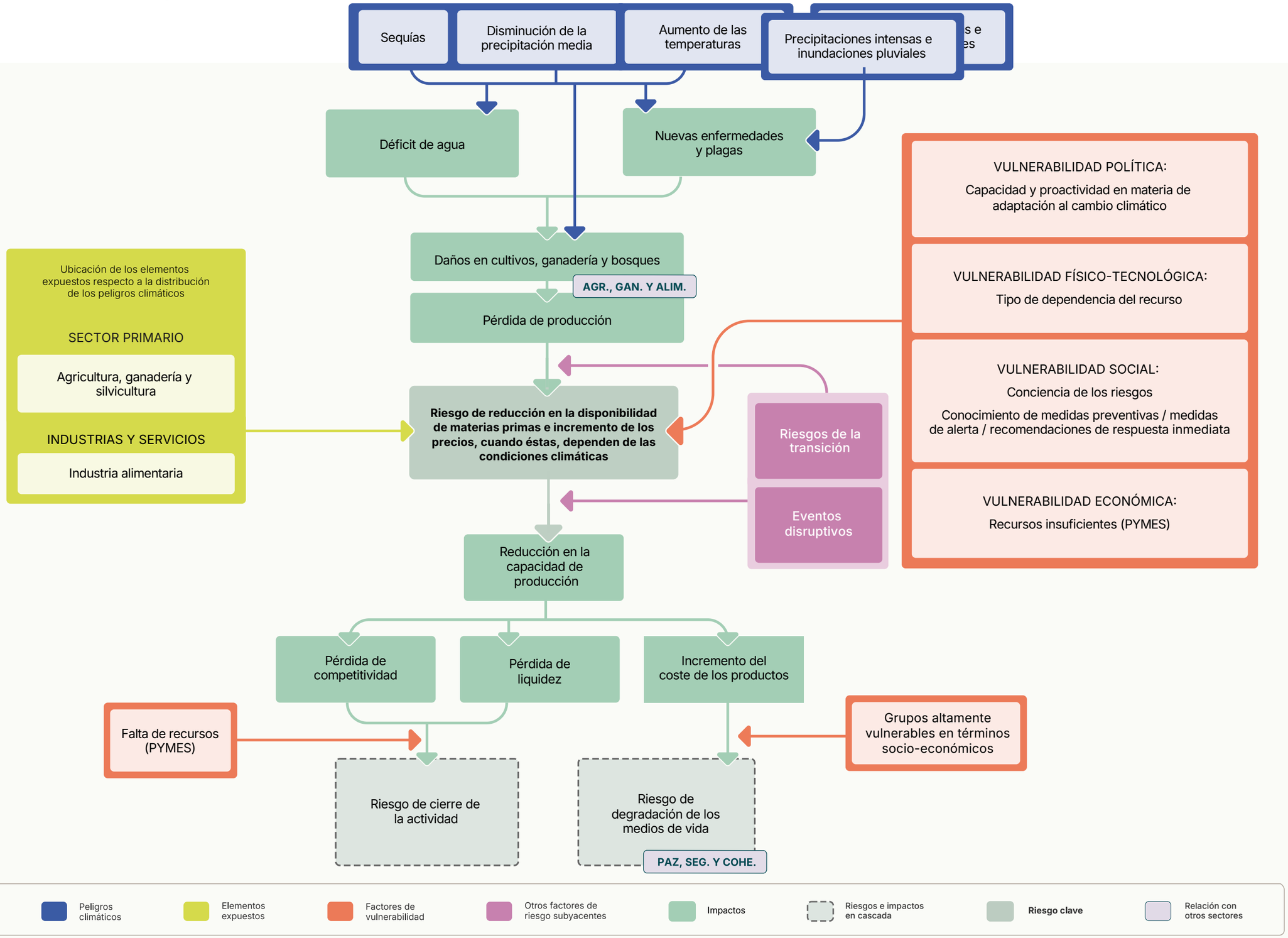


Figura 6. Cadena de impacto del riesgo clave de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas, dependen de las condiciones climáticas.

La ocurrencia de las sequías, que se desencadena por los cambios en la temperatura y la precipitación media, es uno de los principales peligros que dan lugar a este riesgo clave afectando a la productividad del sector primario (European Commission *et al.,* 2020; EEA, 2024b) y llegando a suponer una pérdida de al menos un 6 % anual para el caso de la actividad agraria (Resco, 2022). Tal y como concluyen varios estudios (CEDEX, 2017; Rossi *et al.,* 2023) y reflejan los escenarios climáticos disponibles en la plataforma AdapteCCa, España es un territorio especialmente expuesto ante este fenómeno extremo y se prevé que su exposición incremente a lo largo de este siglo. Del mismo modo, eventos extremos como las granizadas, así como las precipitaciones intensas que tienen lugar en el territorio, y que hacen que sean frecuentes los eventos de inundación, tenderán a incrementarse (CEDEX, 2021; EEA, 2024b). Sin embargo, eventos como las nevadas y heladas no serán tan relevantes puesto que tenderán a disminuir fruto del aumento de las temperaturas (AEMET, 2017; EEA, 2024b); por ello, no se consideran en el esquema.

La industria alimentaria, si bien se concentra en Andalucía y Cataluña (MINTUR, 2023a), su exposición se ve principalmente condicionada por la ubicación de las materias primas de origen vegetal y animal que requiere. Según el INE (2020), las comunidades autónomas de Andalucía, Castilla-La Mancha y la Comunitat Valenciana destacan en términos del número de explotaciones, mientras que Castilla y León, Andalucía, Castilla-La Mancha, Extremadura y Aragón lo hacen en superficie agrícola. En cuanto a la silvicultura, sobresalen las comunidades autónomas de Galicia, Castilla y León, País Vasco y Asturias, ya que muestran un mayor volumen de cortas de madera. Con respecto a la ganadería, destacan las comunidades autónomas de Cataluña, Castilla y León y Aragón, con un mayor número de reses sacrificadas, y las comunidades de Galicia, Castilla y León y Cataluña con la mayor venta de leche a industrias.

La vulnerabilidad de las personas propietarias de las industrias y los servicios se ve condicionada por aspectos sociales como el desconocimiento tanto del riesgo como de las medidas de prevención o de alerta, así como de factores económicos como la dependencia que muestra la actividad hacia el recurso. Aquellas industrias cuya actividad depende exclusivamente de un único recurso son más vulnerables que aquellas que poseen una producción diversificada empleando múltiples materias primas. Del mismo modo, aquellas industrias que poseen una red menos diversificada de proveedores son más vulnerables que aquellas cuya red es mucho más amplia. También influyen otros factores en su vulnerabilidad económica, como el tamaño, el número de empleados y el volumen de negocios. Las pymes con menor número de asalariados son las que presentan una mayor vulnerabilidad puesto que disponen de una menor capacidad para la adopción de acciones y recuperarse del riesgo, como aumentar el stock de existencias, realizar compras con mayor antelación como medida de precaución, o buscar otros proveedores de países más cercanos y con menor riesgo. Dentro de este sector, las Islas Baleares, Extremadura y La Rioja muestran las empresas de menor tamaño y menor cifra de negocios (MINTUR, 2023a).

La pérdida de producción en el sector primario, junto con la exposición de la industria alimentaria y su vulnerabilidad, dan lugar al riesgo de reducción en la disponibilidad de las materias primas y al incremento de los precios de los bienes y servicios. Algunos estudios (p. ej., Lobell *et al.,* 2011) sugieren que el cambio climático es responsable de incrementar los precios de los alimentos en un 19 %. En España, en concreto, el impacto que tuvo la sequía padecida en el territorio entre finales de 2022 y mediados de 2024 produjo un retroceso en la producción del sector en 2023 por primera vez en diez años debido a la disminución en la producción de los cultivos[26].

Por otro lado, este riesgo podría desencadenar un aumento en los costes operativos debido a la necesidad de implementar medidas de gestión del riesgo. Como resultado, la competitividad de la actividad podría disminuir, afectar a la liquidez y llevar al cierre de los negocios. Además, el incremento de los costes podría traducirse en un aumento de los precios de los productos, lo que impactaría negativamente a la población con menos recursos, un riesgo relevante también identificado en el sector *Paz, seguridad y cohesión social.*

Por último, este riesgo podría verse influenciado por otros factores de riesgo subyacentes, como los riesgos de transición o eventos de cisne negro. En particular, los riesgos regulatorios y tecnológicos podrían incrementar los costes operativos, y los eventos de cisne negro podrían tener un impacto significativo en la actividad a lo largo de toda la cadena de impacto.

[26] https://fiab.es/la-industria-de-alimentacion-y-bebidas-frena-su-crecimiento-per o-mantiene-su-capacidad-empleadora/

Ficha 4. Resumen del riesgo de disminución en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas, dependen de las condiciones climáticas.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
	Un estudio europeo del JRC, a través de PESETA IV (Cammalleri *et al.*, 2020[27]), estima que las pérdidas anuales actuales por sequía en España son de 1.500 millones de euros al año (0,1 % del PIB). No obstante, la horquilla de las posibles pérdidas es amplia, entre 700 (0,05 % del PIB) y 3.000 millones de euros (0,2 % del PIB). Las cifras reales en periodos de sequía relevantes, como en el año 2023, pueden ser incluso muy superiores a las estimadas en el estudio a escala europea. Según un estudio de AON (Europa Press, 2024)[28], se valoraron en 5.500 millones de euros (0,37 % del PIB).	Desde PESETA IV (Cammalleri *et al.*, 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en las condiciones económicas actuales (año 2015), será de 9.700 millones de euros. Esto representa un incremento medio del 7 %, que en el caso de España equivaldrían a 1.600 millones de euros (0,11 % del PIB). El aumento del precio del agua podría intensificarse en el futuro, lo que afectaría a los sectores más vulnerables para acceder a este recurso (March *et al.*, 2023[29]).	Desde PESETA IV (Cammalleri *et al.*, 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en las condiciones económicas actuales (año 2015), será de 12.200 millones de euros. Esto representa un incremento medio de casi el 35 %, que en el caso de España equivaldrían a 2.025 millones de euros (0,14 % del PIB). Sin embargo, en una situación económica futura (año 2050) la cifra en Europa se elevaría a 15.500 millones de euros (incremento del 71 %), correspondiendo aproximadamente	Desde PESETA IV (Cammalleri *et al.*, 2020) se estima que la media de las pérdidas anuales actuales por sequía en Europa, en las condiciones económicas actuales (año 2015), y con un nivel de calentamiento de 3 °C, será de 17.300 millones de euros. Esto representa un incremento medio del 90,7 %, que en el caso de España equivaldrían a 2.860 millones de euros (0,19 % del PIB). Sin embargo, en una situación económica futura (año 2100) la cifra en Europa se dispararía a 45 mil millones de euros (incremento del 402 %), correspondiendo aproximadamente

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[27] Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., De Roo, A. and Feyen, L., Global warming and drought impacts in the EU, EUR 29956 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-12947-9, doi:10.2760/597045, JRC118585. JRC Publications Repository - Global warming and drought impacts in the EU. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118585

[28] Ver nota al pie número 24.

[29] March, H.; Gorostiza, S. and Saurí, D. 2023. Redrawing the hydrosocial cycle through treated wastewater reuse in the metropolitan area of Barcelona. Water Alternatives 16(2): 463-479. https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol16/v16issue2/702-a16-2-5/file

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	Según el Informe sobre la Gestión de la Sequía en 2023 (MITECO, 2023)[30] ese año, el 14,6 % del territorio nacional estaba en situación de emergencia y el 27,4 % en alerta por escasez de agua. Según la Confederación Empresarial de la Comunitat Valenciana (CEV, 2025)[31], como consecuencia de la dana de 2024, 63.182 empresas (35,6 % de la provincia) se han visto afectadas, de las que el 87 % pertenecen al sector Industria y Servicios[32] y el 99,6 % son pymes. Los daños sobre el tejido productivo están valorados en 13.705 M € (20 % del PIB de la provincia de Valencia y 0,9 % del PIB nacional), de los que 4.504 M € corresponderían a Industria y 1.380 M € a Agricultura.	Un estudio de CEDEX (2021) prevé un aumento de la torrencialidad para el periodo 2011-2040, lo que incrementaría, a su vez, las inundaciones fluviales y pluviales.	a España 2.570 millones de euros (0,17 % del PIB). El precio del agua podría seguir aumentando en situaciones de sequía (March *et al.*, 2023). Por otro lado, en la Península Ibérica se prevé más lluvia en episodios extremos y menos en eventos intermedios (MITECO, 2024).	a España 7.530 millones de euros (0,5 % del PIB). El precio del agua podría seguir aumentando en situaciones de sequía (March *et al.*, 2023). Asimismo, en la Península Ibérica se anticipa un aumento de las precipitaciones extremas y una reducción de los eventos de intensidad intermedia (MITECO, 2024).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

30 https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2023/09/el-14-6--del-territorio-esta-en-emergencia-por-escasez-de-agua-y.html

31 https://www.cev.es/wp-content/uploads/Impacto-DANA-en-Valencia-12.03.2025.pdf

32 Se incluye servicios de transporte y hostelería.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio
	Escasos estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general, y no específicamente a cómo puede afectar la falta de agua como materia prima. No se ha identificado información sobre la reducción de otras materias primas.	Escasos estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general. No se ha identificado información sobre la reducción de otras materias primas.	Escasos estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general. No se ha identificado información sobre la reducción de otras materias primas.	Escasos estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general. No se ha identificado información sobre la reducción de otras materias primas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Incremento en el número de días secos y en el máximo de número de días secos consecutivos (visor de escenarios climáticos de AdapteCCa). • Sequías cada vez más frecuentes (CEDEX, 2017). • Disminución en el indicador SPEI (proxy de la disponibilidad del agua) para toda España (Rossi *et al.*, 2023). • Incremento de eventos extremos como precipitaciones intensas (CEDEX, 2021; EEA, 2024b).	• Industria de la alimentación y bebidas.	• Tipo de dependencia del recurso. • Recursos insuficientes (PYMES). • Conciencia de los riesgos. • Conocimiento de medidas preventivas/ medidas de alerta/ recomendaciones de respuesta inmediata. • Capacidad y proactividad en materia de adaptación en el sector.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	España es la cuarta potencia agroalimentaria de Europa y la décima del mundo, por lo que se espera que este riesgo tenga un impacto internacional (ICEX, 2024).
Territoriales	En términos de exposición destacan (INE, 2020): • Las comunidades autónomas de Andalucía, Castilla-La Mancha y la Comunitat Valenciana poseen el mayor número de explotaciones, mientras que Castilla y León, Andalucía, Castilla-La Mancha, Extremadura y Aragón destacan en superficie agrícola. • Las comunidades autónomas de Galicia, Castilla y León, País Vasco y Asturias presentan el mayor volumen de cortas de madera. • Las comunidades de Cataluña, Castilla y León y Aragón poseen el mayor número de reses sacrificadas y las comunidades de Galicia, Castilla y León y Cataluña la mayor venta de leche a industrias. En términos de vulnerabilidad sobresalen (MINTUR, 2023a): • Las Islas Baleares, Extremadura y La Rioja al presentar menor tamaño y menor cifra de negocios.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Sociales	Grupos sociales que se verán expuestos de forma desigual: • Colectivo pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios. • Población con menos recursos debido a un potencial incremento de los precios y desabastecimiento de materias primas.
Maladaptación	• La importación de productos de otro país con un mayor coste y menor calidad puede incrementar los costes de operación, disminuir la calidad de los productos finales y suponer un incremento en los gases de efecto invernadero por el transporte.
Género	Los estudios disponibles no integran el enfoque género con respecto a este riesgo. Los estudios generales del sector indican que las mujeres desarrollan su actividad mayoritariamente en el sector servicios, mientras que en la industria su presencia es relativamente baja. Del mismo modo, señalan las siguientes desigualdades (Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales, 2002; Ministerio de Trabajo y Economía Social, 2022; CCOO, 2023): • Mayor subempleo por sobrecualificación. • Discriminación salarial en comparación con otros sectores. • Una segregación ocupacional que sitúa a las mujeres en ocupaciones muy determinadas con niveles de toma de decisión muy reducidos. Por otro lado, teniendo en cuenta que la tasa de pobreza entre las mujeres (20,8 %) es más elevada que entre los hombres (19,5 %) (Alguacil *et al.*, 2024), un incremento en los precios derivado del riesgo clave descrito podría llevar a un aumento en la desigualdad en género.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales críticos relativos a la disponibilidad de materias primas varían según la materia prima. A continuación, se recogen varios ejemplos: • Agricultura: un incremento de 1,5 °C supone pérdidas en el rendimiento de los cultivos (UNEP, 2021). En concreto, un incremento de 1,5 °C supone una reducción en la producción del maíz y de trigo del 7 % en el sur de Europa (European Commission *et al.*, 2020). • Ganadería: el confort térmico de la mayoría del ganado doméstico varía entre los 10 y 30 °C. A temperaturas más altas, los animales reducen su ingesta de alimento entre un 3 % y un 5 %, lo que disminuye su productividad y fertilidad (Nardone *et al.*, 2006).
Lock-in/Bloqueo	El riesgo puede no superarse cuando la actividad dispone de maquinaria y procesos exclusivos para el procesamiento de un tipo de materia prima. El hecho de cambiar a otra materia prima y adaptar los procesos puede requerir de una inversión significativa que puede no ser viable a corto plazo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo destaca la siguiente normativa y planes: • **Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2022** (CSRD), que obliga a las empresas de un determinado tamaño a elaborar informes anuales donde se recogen, entre otros aspectos, sus riesgos y medidas para adaptarse, siguiendo las recomendaciones de la TCFD (BOE, 2022). A nivel nacional se encuentra los siguientes planes que recogen acciones para la reducción del riesgo: • El **Plan Estratégico de la PAC en España**, aprobado en 2022 por la Comisión Europea y financiado por los fondos FEAGA y FEADER, establece medidas de intervención en la producción agraria para adaptarse a los retos climáticos como reducir la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas, ganaderos y/o forestales a los impactos del cambio climático (sequía, aridez, inundación e incendios forestales, mayor incidencia de plagas y enfermedades, motivados por el aumento de los eventos extremos) fomentando su adaptación. (MITECO, 2021). • El **PNACC** recoge medidas relativas a la adaptación del sector primario (medidas recogidas en la línea de acción 6) y la industria que contribuyen a reducir el riesgo (medidas recogidas en la línea de acción 11). • Las **Directrices Generales de la Nueva Política Industrial Española 2030** incorporan entre sus medidas la potenciación de los análisis de vulnerabilidades y fortalezas de las empresas en relación con la transición ecológica y al cambio climático (MINTUR, 2019). Destacan también los siguientes documentos, que incluyen acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • Dentro del **repositorio de AdapteCCa**, en el ámbito sectorial de agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y alimentación se encuentran disponibles múltiples recursos relativos a la adaptación del sector primario. • El documento de **Adaptación al Cambio Climático en la Estrategia de Negocio de la Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas (FIAB)** analiza la situación del sector y presenta medidas de adaptación al cambio climático para la Industria de Alimentación y Bebidas (FIAB, 2016) Se incluyen, además, acciones puntuales en curso que gestionan el riesgo: • El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación dispone de ayudas a inversiones del sector vitivinícola para el periodo 2024-2027. • Existen varias líneas de ayudas e incentivos para impulsar el crecimiento de las empresas, en particular de las pymes agroalimentarias nacionales[33].
Gobernanza de gestión del riesgo	• Ministerio de Industria y Turismo. • Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. • Empresas del sector de la Alimentación y Bebidas. • Agricultores, ganaderos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[33] Guías dinámicas de ayudas e incentivos para empresas

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los costes para productores y consumidores. • Conservación de las relaciones comerciales nacionales e internacionales. • Mantenimiento de puestos de trabajo en el sector.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • La falta de disponibilidad de las materias primas puede hacer que las tecnologías para la descarbonización (p. ej., biocombustibles, biomasa) sean más costosas de implementar. • El incremento en los precios de las materias primas puede hacer que las empresas sean reticentes en invertir en nuevas tecnologías. • La potencial afección a la seguridad alimentaria puede hacer que se desvíen recursos destinados a la descarbonización hacia la gestión de la crisis alimentaria. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • La transición hacia fuentes de energía más sostenibles (p. ej., biocombustibles) puede incrementar la competencia por materias primas, como el maíz y residuos orgánicos, elevando aún más sus precios. • El incremento previsto en la demanda de agua para la producción de biocombustibles puede incrementar la competencia por el agua para el uso industrial.
Déficits de información	• Se dispone de información cuantitativa muy limitada relativa al riesgo según los escenarios actual y de cambio climático. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • Escasos estudios a escala nacional, que además hacen referencia a la sequía, en general. No se ha identificado información sobre la reducción de otras materias primas.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo de Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial de *Industria y servicios* se basa en los resultados obtenidos en este análisis general de riesgos complejos.

A continuación, se esbozan los grafos de cada riesgo clave (ver de la **Figura 7** a la **Figura 10**).

El *Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos* (RC11.1) (**Figura 7**) tiene un grado bajo de interconexión con otros riesgos clave:

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de los ámbitos sectoriales de *Ciudad, urbanismo y edificación* (códigos que empiezan por RC7)[34] y, en menor medida, de *Agua y recursos hídricos* (RC2) y *Costas y medio marino* (RC6);

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa principalmente como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como *Ciudad, urbanismo y edificación* (RC7), *Industria y servicios* (RC11) y *Sistema financiero y actividad aseguradora* (RC13).

El *Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico* (RC11.2) (**Figura 8**) tiene también un grado bajo de interconexión con otros riesgos clave:

- Respecto a su grado de entrada, este riesgo se ve influido especialmente por riesgos de los ámbitos sectoriales de *Agua y recursos hídricos* (códigos que empiezan por RC2) e *Industria y servicios* (RC11);

- Sobre su grado de salida, este riesgo tiene un rol escaso como nodo generador de impactos en cascada, ya que afecta de manera limitada a riesgos pertenecientes a sectores de *Ciudad, urbanismo y edificación* (RC7), *Industria y servicios* (RC11) y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14).

El *Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas* (RC11.3) (**Figura 9**) tiene también un grado bajo de interconexión con otros riesgos clave:

- Respecto a su grado de entrada, este riesgo se ve influido especialmente por riesgos del sector *Energía* (códigos que empiezan por RC9) y, de manera menos explícita, de los ámbitos sectoriales *Ciudad, urbanismo y edificación* (RC7) e *Industria y servicios* (RC11).

- Sobre su grado de salida, este riesgo actúa principalmente como nodo generador de impactos en cascada sobre otros riesgos pertenecientes al sector *Industria y servicios* (RC11) y, de manera menos importante, sobre el sector *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14).

[34] RCX representa los riesgos clave de un sector determinado. Se puede ver el listado completo de riesgos relevantes y riesgos clave en el anexo correspondiente.

Por último, el *Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas dependen de las condiciones climáticas (ganadería, agricultura, silvicultura, etc.)* (RC11.4) (**Figura 10**) es el riesgo del sector *Industria y servicios* que presenta un mayor grado de interconexión con otros riesgos clave:

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido principalmente por riesgos de los ámbitos sectoriales de *Agua y recursos hídricos* (códigos que empiezan por RC2), *Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas* (RC3), *Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación* (RC5) e *Industria y servicios* (RC11);

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa principalmente como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como *Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación* (RC5) y, en menor medida, *Industria y servicios* (RC11) y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14).

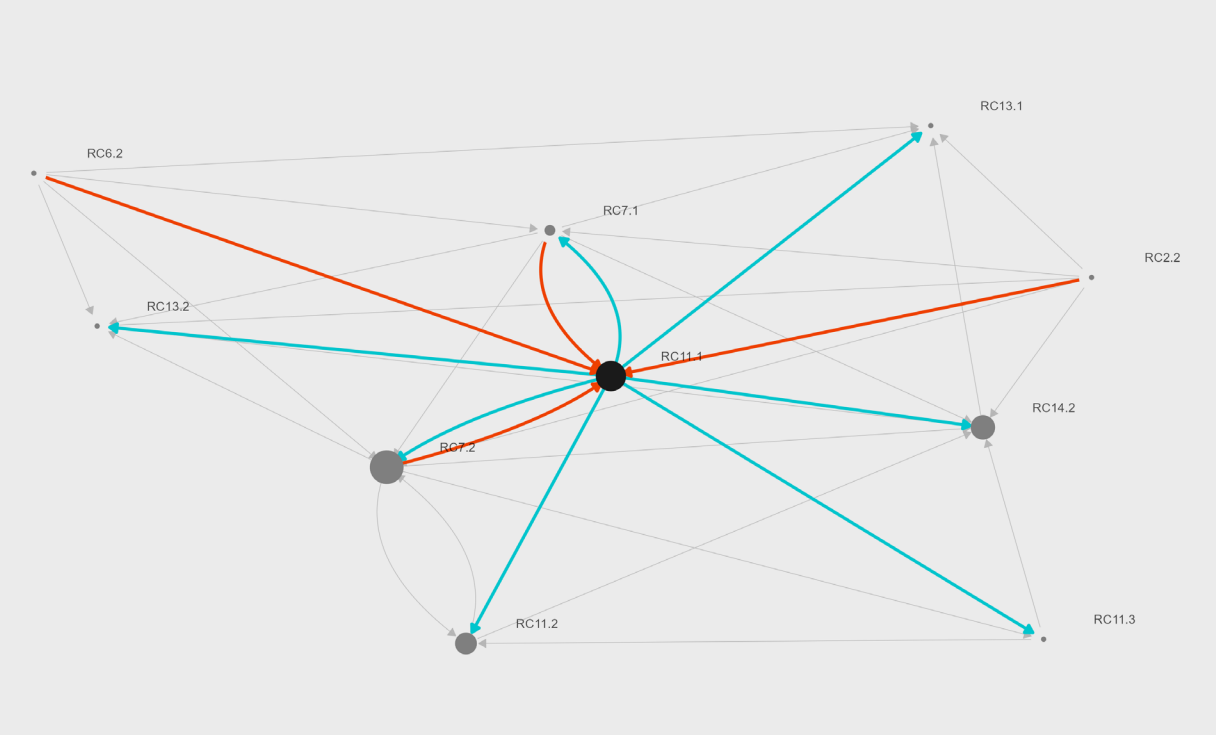


Figura 7. Grafo del Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos. Fuente: Capítulo de Riesgos Complejos.

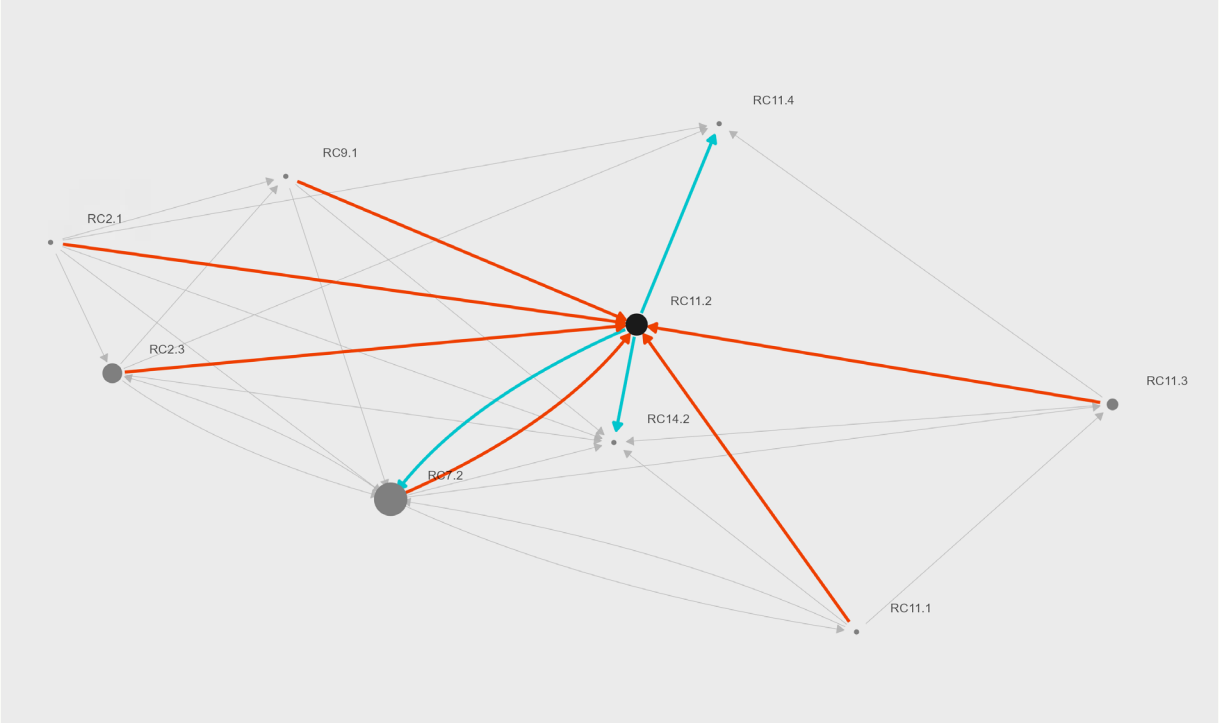


Figura 8. Grafo del Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico. Fuente: Capítulo de Riesgos Complejos.

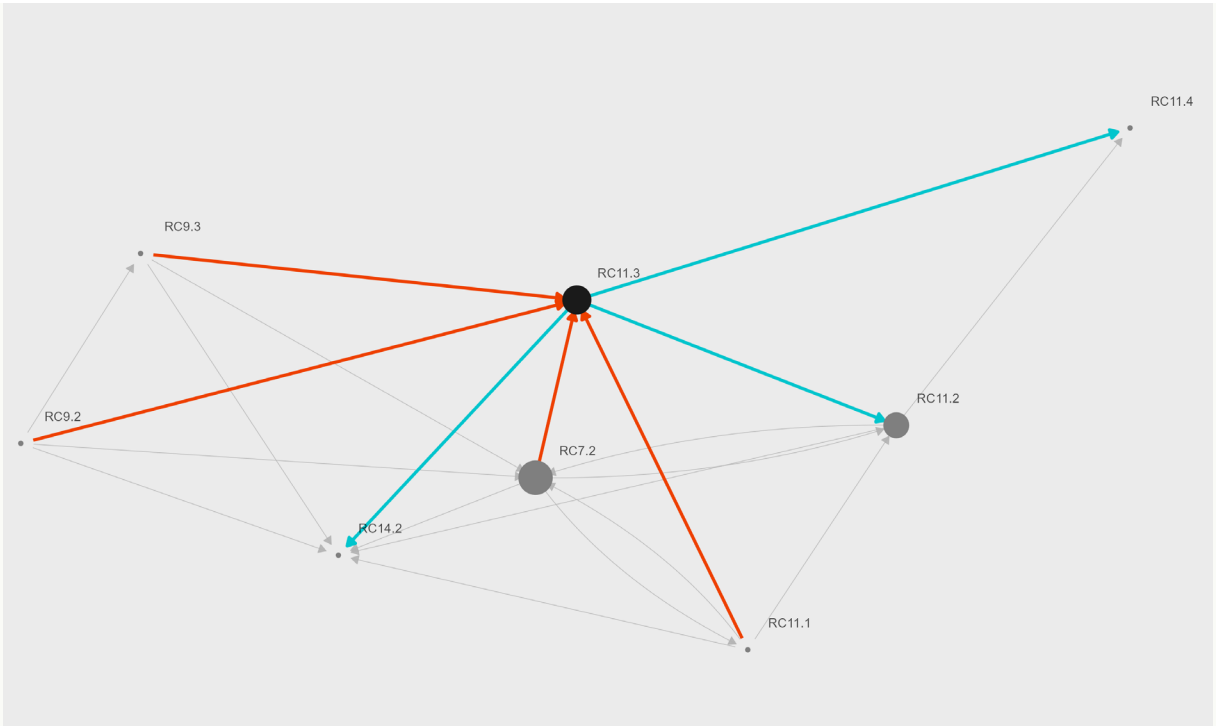


Figura 9. Grafo del Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas. Fuente: Capítulo de Riesgos Complejos.

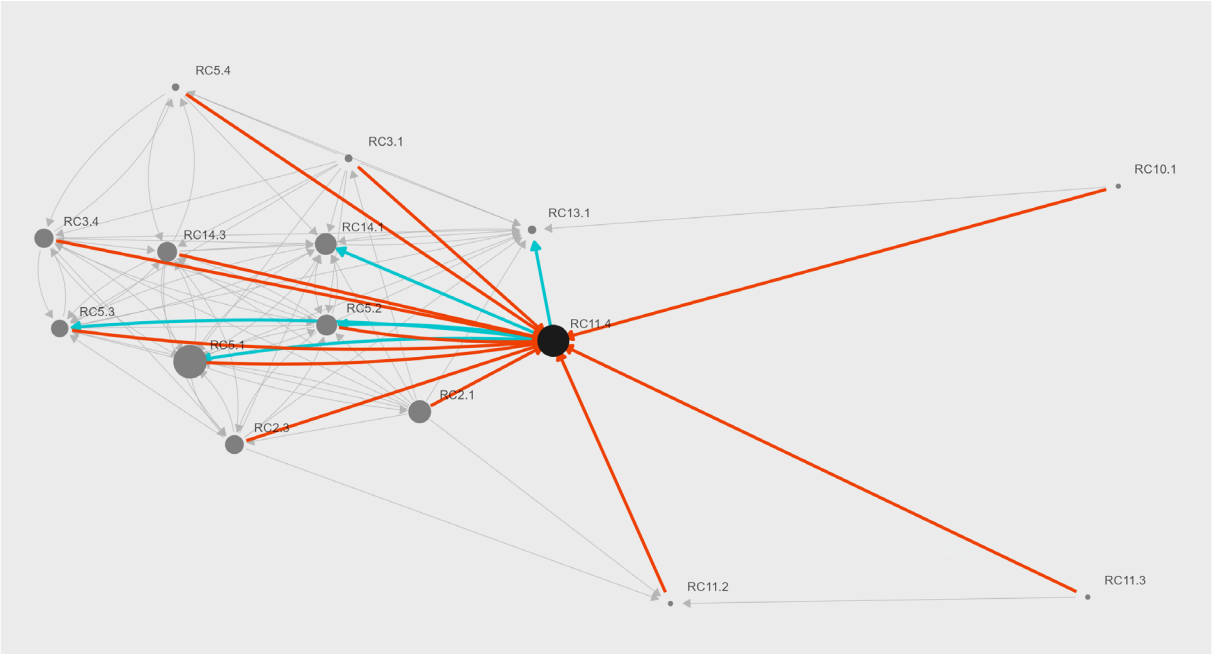


Figura 10. Grafo del Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas dependen de las condiciones climáticas.
Fuente: Capítulo de Riesgos Complejos.

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial de la industria y los servicios.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC11.1 Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos	Bajo ▼	Bajo ▼	Media ▬	Media ▬
RC11.2 Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y de servicios por la reducción del aporte hídrico	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Media ▬
RC3 Riesgo de disminución y/o interrupción de los procesos industriales y de servicios por temperaturas extremas	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Media ▬
RC11.4 Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas, dependen de las condiciones climáticas	Alto ▲	Bajo ▼	Baja ▼	Media ▬

6. Caso de estudio

El caso de estudio *Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones* ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de la Industria y los servicios. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones

Objeto

- Las organizaciones, cada vez más expuestas a los efectos adversos del cambio climático, han comenzado a implementar prácticas de adaptación orientadas a reducir su vulnerabilidad y garantizar la continuidad operativa. Esta guía está dirigida a aquellas entidades que desean avanzar un paso más, integrando la adaptación climática en sus estrategias y procesos ya consolidados. Para ello, ofrece una metodología que contempla el análisis de riesgos climáticos y la priorización de medidas de adaptación con el objetivo de reducir las consecuencias de los impactos negativos derivados del cambio climático y asegurar su competitividad.

Descripción:

- La metodología para el análisis de riesgos climáticos se basa en estándares internacionales de instituciones como el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), *British Standards Institution* (BSI), UKCIP y *Australian Government*. Incluye la definición del alcance geográfico y operacional, la recopilación

Ámbito Territorial:

- País Vasco.

Sector(es)/subsector:

- Industria y Servicios.

Entidad(es) del proyecto:

- IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco e IDOM S.A.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

de datos, la evaluación de la vulnerabilidad actual, el uso de proyecciones climáticas y la identificación y cuantificación de impactos mediante una matriz de riesgo. El análisis de riesgos se complementa con una metodología multicriterio para priorizar medidas de adaptación, considerando variables como la reducción del riesgo, viabilidad técnica y económica, y cobeneficios sociales y ambientales. La herramienta propuesta permite seleccionar y valorar medidas específicas, facilitando la toma de decisiones estratégicas para reducir la vulnerabilidad organizacional frente al cambio climático.

Aspectos destacables:

- Se trata de una guía flexible y adaptable, dado que permite personalizar los parámetros de análisis según el contexto de cada organización; promueve su integración con los sistemas de gestión actuales de las organizaciones e incluye una herramienta digital de apoyo para la elaboración de los planes de adaptación. Además, muestra ejemplos de distintas organizaciones del País Vasco, como Befesa Zinc Aser y Euskotren-ETS (cómo han establecido el alcance), Metro Bilbao (su análisis de riesgos climáticos) y Euskaltel y Euskotren-ETS (cómo han priorizado las medidas de adaptación).

Escala:

- Regional.

Riesgo(s):

- Incremento de los daños en infraestructuras industriales y de servicios por precipitaciones extremas e inundaciones; consumos elevados de electricidad generados por olas de calor; disminución de la eficiencia de los motores o estrés hídrico en sistemas de refrigeración, debido a alteraciones climáticas.

Enlaces:

- https://adaptecca.es/recursos/buscador/guia-para-la-elaboracion-de-planes-de-adaptacion-al-cambio-climatico-para

8. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

Este capítulo expone los principales riesgos climáticos del sector de la industria y los servicios de España, así como su interrelación con los riesgos de otros ámbitos con el fin de poder orientar la adaptación en su planificación y gestión. Asimismo, identifica una serie de riesgos clave en base a la información existente y una valoración en clave de urgencia con el fin de identificar aquellos riesgos, que requieren de una atención más inmediata en el siguiente ciclo de planificación.

Para conocer la limitación de los resultados de este capítulo es conveniente indicar ciertos condicionantes encontrados a lo largo del proceso, que están principalmente vinculados con la información disponible. A continuación, se describen de forma genérica las fuentes empleadas y seguido, se visibilizan los condicionantes encontrados en base a estas fuentes recopiladas.

Fuentes empleadas

El diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España, elaborado en el año 2021, es el punto de partida del presente capítulo, el cual analiza y sintetiza los principales impactos del cambio climático para los sectores considerados como prioritarios, tanto en el PNACC-1 como en el PNACC-2 (recursos hídricos, ecosistemas terrestres, agricultura y ganadería, medio marino, costas, áreas urbanas, salud, energía, transporte y turismo) (Sanz y Galán, 2021). Para el sector de la industria y los servicios, si bien no está incluido de forma explícita como sector, el informe identifica sus potenciales impactos dentro del ámbito urbano.

Adicionalmente, el capítulo emplea la documentación recogida en la plataforma AdapteCCa, la cual contiene información sobre los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de determinadas actividades industriales, como la industria de la madera o la industria de alimentación y bebidas. Esta información, además, es complementada con artículos científicos, en su gran mayoría, del ámbito internacional, así como con informes no académicos de instituciones públicas, tales como el Ministerio de Industria y Turismo, el Instituto Nacional de Estadística y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Otra importante fuente de información, que ha sido empleada para abordar el marco metodológico, corresponde con el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2022), cuyo enfoque es

el pilar central que guía la evaluación de riesgos de este capítulo. Asimismo, para el diseño del marco de evaluación se han empleado otras fuentes relevantes, como la Guía Técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres (UNDRR, 2022), el diagnóstico de riesgos climáticos elaborado para Europa EUCRA (EEA, 2024b) y el enfoque empleado en la evaluación nacional de riesgos de Reino Unido.

Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del sector

Por lo general, la identificación de los riesgos relevantes se ha basado en estudios que identifican y valoran los impactos climáticos del sector de forma cualitativa a partir de impactos climáticos pasados y las vulnerabilidades que muestra el sector (FIAB, 2020; Picos, 2020; Naturklima, 2021; Sanz y Galán, 2021, entre otros).

La cuantificación de los impactos y riesgos es aún limitada para el territorio y está más extendida para determinados peligros, como las inundaciones fluviales y costeras y las temperaturas extremas. A nivel europeo se han encontrado estudios, que evalúan de una forma espacialmente explícita (cartografiable) los riesgos del sector; sin embargo, en su gran mayoría lo abordan de forma genérica o desde un punto de vista de las infraestructuras críticas, incluyendo actividades que se encuentran fuera del alcance del presente capítulo, como por ejemplo la energía, el transporte, actividades financieras, hostelería, entre otros (p. ej., Forzieri *et al.,* 2018a; ESPON, 2022). También se han recopilado estudios que analizan el riesgo de una forma más específica; no obstante, todos ellos están centrados en el impacto que ejercen las temperaturas elevadas sobre la productividad laboral (Flouris *et al.,* 2017; Szewczyk *et al.,* 2021; Dasgupta *et al.,* 2021). A nivel nacional, por su parte, los pocos estudios que analizan los riesgos climáticos del sector se encuentran centrados exclusivamente en el peligro de inundación costera, gracias a la iniciativa PIMA Adapta Costa.

Por otro lado, cabe indicar que todos estos estudios han sido elaborados para los escenarios denominados Sendas Representativas de Concentración o Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, de sus siglas en inglés) y no se han encontrado prácticamente ningún estudio que atienda a los últimos escenarios planteados por el IPCC, que cubren el aspecto tanto ambiental como social, combinando los escenarios denominados Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP por sus siglas en inglés) con los RCP.

Por todo ello, se requiere seguir trabajando para generar conocimiento en torno a los impactos y riesgos del cambio climático en la industria y los servicios, tanto en lo relativo a la identificación riesgos para nuevos peligros, como en la mejora de la precisión de las evaluaciones existentes.

Es crucial, además, desarrollar estudios, que integren los últimos escenarios planteados por el IPCC, para obtener una visión más completa y precisa de los posibles futuros impactos climáticos.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El AMC elaborado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por el IPCC (2022), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, las características temporales del riesgo, los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. Tal y como se refleja previamente, las restricciones en la disponibilidad de información complican la evaluación objetiva de los criterios, haciendo necesario recurrir al juicio de expertos.

Si bien el juicio de expertos puede estar sujeto a sesgos personales y limitaciones subjetivas, para mitigar dicho riesgo, se ha implementado un riguroso proceso de validación interna de forma que las evaluaciones han sido revisadas y corroboradas por múltiples expertos, reforzando, así, la fiabilidad y la objetividad de los resultados obtenidos.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

Del mismo modo, la limitada información disponible hasta la fecha complica la caracterización de los riesgos clave, particularmente en lo que respecta a la descripción de aspectos como umbrales críticos del riesgo, riesgos de bloqueo y cuestiones transversales, tales como los efectos transfronterizos, la vulnerabilidad social y territorial, y la perspectiva de género. Es por ello que la información recopilada en las fichas sobre estos temas es una aproximación preliminar, y resulta necesario continuar generando nuevo conocimiento que permita una mejor comprensión de estas cuestiones.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Los estudios previamente descritos se centran en la evaluación de un determinado peligro climático y en aspectos particulares del sector. Por ello, no se han encontrado análisis con una visión de conjunto de los riesgos e impactos del sector, especialmente en aquellos con alto potencial de que sean compuestos, lo que dificulta reflejar la realidad del sector.

En este sentido, existe una necesidad urgente de ampliar el conocimiento de las relaciones entre los riesgos del mismo sector y entre los distintos sectores. Esto permitirá una mejor comprensión de cómo los riesgos compuestos pueden afectar al sector en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y efectivas.

Otras limitaciones

Finalmente, parte de la información sobre el sector y los riesgos derivados del cambio climático no se encuentra fácilmente accesible, sea porque está en manos privadas o porque se encuentra en medios que no tienen acceso abierto. Puesto que el objetivo de este estudio es que la información sea trazable y transparente, algunos de estos análisis no se han incluido y/o referenciado, pero no se estima que hayan alterado los resultados de manera significativa (aunque si pueden alterar el nivel de calidad de datos y de consenso científico).

8. Referencias

- AEMET, 2017. Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5.
- Alfieri, L., Dottori, F., and Feyen, L. (2017). JRC PESETA III project. Task 7 – River floods. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110308/task_7_floods_final_report_dec2018.pdf.
- Amblar, P., Casado, M.J., Pastor, A., Ramos, P. & Rodríguez, E. (2017). Guía de escenarios regionalizados de Cambio Climático en España, a partir de los resultados del IPCC-AR5. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, NIPO: 014-17-010-8.
- Angeon, V., Bates, S., 2015. Reviewing Composite Vulnerability and Resilience Indexes: A Sustainable Approach and Application. World Development 72, 140–162. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.02.011
- Banco Mundial, 2016. High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy.
- Betts, R.A., Brown, K., 2021. The Third UK ClimateChange Risk Assessment Technical Report.
- BOE, 2023. Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.
- BOE, 2022. Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2022.
- BOE, 2021. Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.
- BOE, 2018. Orden TEC/1399/2018, de 28 de noviembre, por la que se aprueba la revisión de los planes especiales de sequía correspondientes a las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar; a la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro; y al ámbito de competencias del Estado de la parte española de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.
- Calvo Gonzále-Regueral, C., Iglesias Banciella, V., 2021. El valor de las cadenas de suministro para la industria de defensa. Retos de la Digitalización. Economía industrial 107–115.
- Cámara de Comercio, 2018. Mapa del sector industrial español: Claves y retos.
- Carvalho, D., Pereira, S. C., Silva, R., & Rocha, A. (2022). Aridity and desertification in the Mediterranean under EURO-CORDEX future climate change scenarios. Climatic Change, 174(3), 28.
- CCOO, 2023. La Mujer en la industria y el campo.
- CEDEX, 2021. Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España.
- CEDEX, 2018. Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos.
- CEDEX, 2017. Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España (Informe final). CEDEX.

- CEOE, 2023. Informe sobre el agua en España: situación actual, retos y oportunidades.
- Chatain, L., Ghosh, R., Preudhomme, N.A., Mazzacurati, E., 2021. Critical industries have substantial exposure to physical climate risks.
- Claver-Cortes, E., Marco-Lajara, B., Seva-Larrosa, P., Manresa-Marhuenda, E., 2018. Industria alimentaria: fortalezas y debilidades.
- Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial, 2021. Análisis de riesgos costeros ante el cambio climático en las Islas Canarias.
- Consorcio de Compensación de Seguros, 2022. Estadística Riesgos Extraordinarios. Serie 1971-2022.
- Dasgupta, S., Van Maanen, N., Gosling, S.N., Piontek, F., Otto, C., Schleussner, C.-F., 2021. Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study. The Lancet Planetary Health 5, e455–e465. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00170-4
- DGA, 2023. Estrategia Internacional en Materia de Agua.
- Dottori F, Mentaschi L, Bianchi A, Alfieri L and Feyen L, Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change, EUR 29955 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-12946-2, doi:10.2760/14505, JRC118425.
- EEA (Ed.), 2024a. Responding to climate change impacts on human health in Europe: focus on floods, droughts and water quality, EEA report. Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://doi.org/10.2800/4810
- EEA, 2024b. European Climate Risk Assessment (Publication No. 01/2024). Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Eklund, G., Sibilia, A., Salbi, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z., Corbane, C., 2023. Towards a European wide vulnerability framework: a flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. Publications Office, LU.
- ESPON, 2022. ESPON-CLIMATE Update 2022. Updating and Integrating CLIMATE Datasets and Maps. Final Report. ESPON EGTC, Luxembourg.
- ETUC, 2020. Una guía para los sindicatos. Adaptación al cambio climático y al mundo laboral.
- European Commission, Joint Research Centre, Feyen, L., Ciscar, J.C., Gosling, S., 2020. Climate change impacts and adaptation in Europe: JRC PESETA IV final report. Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://doi.org/10.2760/171121
- FIAB, 2020. Adaptación al cambio climático en la estrategia de negocio. Retos, oportunidades y próximos pasos para la Industria de Alimentación y Bebidas.
- FIAB, 2016. Adaptación al Cambio Climático en la Estrategia de Negocio. Retos, oportunidades y próximos pasos para la Industria de Alimentación y Bebidas.
- Flouris, A., Poulianiti, K., Bosch, P., Jonkers, S., Visschedijk, A., TordKjellstrom, Havenith, G., Goodwin, J., Tiago, S.M., Annaheim, S., Kotlarski, S., Liniger, M., Casanueva, A., 2017. Vulnerability maps for health and productivity impact across Europe.
- Forzieri, G., Bianchi, A., Silva, F.B. e, Marin Herrera, M.A., Leblois, A., Lavalle, C., Aerts, J.C.J.H., Feyen, L., 2018a. Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe. Global Environmental Change 48, 97–107. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007

- Gil-Guirado, S., Pérez-Morales, A., Pino, D., Peña, J.C. & López Martínez, F. (2022). Flood impact on the Spanish Mediterranean coast since 1960 based on the prevailing synoptic patterns, Sci. Total Environ., Volume 807, Part 1, 150777, ISSN 0048-9697.
- ICEX, 2024. Industria agroalimentaria.
- Ihobe, Gobierno Vasco, AZTI, 2022. Kostaegoki. I. Análisis de vulnerabilidad y riesgo. Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa del País Vasco frente al cambio climático.
- INE, 2023a. Encuesta de Consumos Energéticos 2021.
- INE, 2023b. Estadística Estructural de Empresas: Sector Comercio Año 2021. Resultados definitivos.
- INE, 2022a. Estadística Estructural de Empresas del sector industrial.
- INE, 2022b. Estadística estructural de empresas del sector servicios.
- INE, 2022c. Estadística Estructural de Empresas: Sector Comercio. Año 2022.
- INE, 2020. INE. Anuario Estadístico de España 2020. Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca.
- INE, 2017. Estudio piloto sobre el uso del agua en el sector servicios (2008-2013).
- INE, 2015. Encuesta sobre el uso del agua en la industria manufacturera 2015.
- IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- ISO, 2014. ISO 14046:2014 Gestión ambiental - Huella hídrica - Principios, requisitos y directrices.
- Llasat, M.C., del Moral, A., Cortès, M. & Rigo, T. (2021). Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region, Atmos. Res., Volume 257, 105581,ISSN 0169-8095.
- Lobell, D.B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J., 2011. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. Science 333, 616–620. https://doi.org/10.1126/science.1204531
- MAPA, 2023. Informe anual de la industria alimentaria española periodo 2023-2024.
- Mediero, L., Santillán, D., Garrote, L. & Granados, A. (2014). Detection and attribution of trends in magnitude, frequency and timing of floods in Spain. J. Hydrol., 517, 1072–1088.
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2022. Encuesta de coyuntura de la exportación: Tercer Trimestre de 2022.
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2019. Agenda Sectorial de la Industria Química y del Refino en España.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011. Sostenibilidad y territorio. Huella hídrica de España.
- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2002. Los factores de desigualdad de género en el empleo. La transferencia de buenas prácticas para la igualdad de género en el empleo.

- Ministerio de Trabajo y Economía Social, 2022. La situación de las mujeres en el mercado de trabajo 2022.
- MINTUR, 2024a. Estructura y dinámica empresarial en España. Datos nacionales, autonómicos y provinciales.
- MINTUR, 2024b. Retrato de la PYME.
- MINTUR, 2023a. Presentaciones sectoriales. Sector Alimentación, Bebidas y tabaco.
- MINTUR, 2023b. Presentaciones sectoriales. Sector Química.
- MINTUR, 2023c. Presentaciones sectoriales. Sector Metalurgia.
- MINTUR, 2023d. Presentaciones sectoriales. Sector Papel, Artes Gráficas y Reproducción de soportes grabados.
- MINTUR, 2019. Directrices Generales de la nueva política industrial española 2030.
- MITECO, 2024. Plan Nacional Integrado de Clima y Energía.
- MITECO, 2021. Informe sobre el plan estratégico de la PAC 2021.
- MITECO, 2020. Libro Verde de la Gobernanza del Agua en España.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Bernabucci, U., 2006. Climatic Effects on Productive Traits in Livestock. Vet Res Commun 30, 75–81. https://doi.org/10.1007/s11259-006-0016-x
- Naturklima, 2021. Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa.
- OECC, 2024a. Documentos de trabajo. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Integración de factores sociales en la adaptación al cambio climático.
- OECC, 2024b. Guía para la elaboración de políticas municipales y planes locales de actuación antes las altas temperaturas.
- Olcina, J., Sotelo, M., 2013. Las demandas de "Huella Hídrica" y su precio, en España: Diferencias territoriales. An. Geogr. Univ. Complut. 33, 41–79. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2013.v33.n2.43001
- Orlov, A., Sillmann, J., Aaheim, A., Aunan, K., De Bruin, K., 2019. Economic Losses of Heat-Induced Reductions in Outdoor Worker Productivity: A Case Study of Europe. EconDisCliCha 3, 191–211. https://doi.org/10.1007/s41885-019-00044-0
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., 2010. Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers. Wiley&Sons, New York.
- Picos, 2020. Análisis de impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la industria de la madera.
- Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., Mach, K.J., Mintenbeck, K., O'Neill, B., Pathak, M., Pedace, R., Pörtner, H.-O., Poloczanska, E., Rojas Corradi, M., Sillmann, J., Aalst, M. van, Viner, D., Jones, R., Ruane, A.C., Ranasinghe, R., 2020.

The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

- Resco, P., 2022. Empieza la cuenta atrás. Impactos del cambio climático en la agricultura Española. Coordinadora de Organizaciones de Agricultures y Ganaderos (COAG).
- Rossi, De Moel, Cotti, Sabino Siemons, Toreti, Maetens, Masante, Van Loon, Hagenlocher, Rudari, Meroni, Isabellon, Avanzi, Naumann, Barbosa, 2023. European drought risk atlas. Publications Office, LU.
- Sanz, M.J., Galán, E. (Eds.), 2021. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático (OECC). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), Madrid.
- SOCIB, 2021. Anáisis de riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears.
- Spain DC Asociación Española de Data Centers, 2023. Informe perfiles Data Center.
- SPAINDC, 2021. Spain Data Center Report Q4 2021.
- Szewczyk, W., Mongelli, I., Ciscar, J.-C., 2021. Heat stress, labour productivity and adaptation in Europe—a regional and occupational analysis. Environ. Res. Lett. 16, 105002. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac24cf
- TCFD, 2020. Task Force on Climate-related Financial Disclosures. Guidance on Riks Management Integration and Disclosure.
- Thøgersen, J., 2021. Consumer behavior and climate change: consumers need considerable assistance. Current Opinion in Behavioral Sciences 42, 9–14. https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2021.02.008
- UCMG, 2018. Proyecciones regionales de Cambio Climático para vientos extremos en España para el s.XXI: Caracterización de valores de retorno y frecuencia de configuraciones atmosféricas de peligro.
- UNDRR, 2022. Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- UNEP, 2021. Adaptation Gap Report.
- UNEP FI, 2023. Climate risks in the industrial sector.
- Valdes-Abellan, J., Pardo, M.A., Tenza-Abril, A.J. (2017). Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. International Journal of Climatology 37, 1285-1296.
- WWA (2024). Extreme downpours increasing in southeastern Spain as fossil fuel emissions heat the climate. [Online]. Disponible en: https://www.worldweatherattribution.org/extreme-downpours-increasing-in-southern-spain-as-fossil-fuel-emissions-heat-the-climate/ [Accedido el 11 diciembre 2024].

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Turismo

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autor/Autores del capítulo

Autor: Laro González Canoura (IH Cantabria)

Agradecimientos: David García León (JRC Sevilla), Grupo Iberostar, Moisés Álvarez Cuesta (IH Cantabria)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Gonzalez Canoura, L. (2025) Turismo. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 1194

2. Introducción / pág. 1196

3. Riesgos relevantes del sector turístico / pág. 1199

4. Riesgos clave / pág. 1210

   4.1. RC12.1 Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort / pág. 1211

   4.2. RC12.2 Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos / pág. 1221

   4.3. RC12.3 Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos / pág. 1233

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 1243

6. Caso de estudio / pág. 1245

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 1247

8. Referencias / pág. 1250

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Turismo de la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos,

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones,** las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos. **Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudi**o representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

El turismo es una de las principales actividades económicas en España, representando en 2023 el 12,8 % del PIB (Exceltur, 2024). La actividad turística se ve reflejada principalmente a través de dos ramas productivas: hostelería y servicios recreativos, donde representan más del 40 % de la producción nacional (Cámara Comercio, 2021), y en menor medida en servicios inmobiliarios y de transporte terrestre (alrededor del 10 %). A esto hay que añadir el estrecho vínculo de la producción turística con otras actividades y sectores: actividades como servicios profesionales (21 % impacto indirecto), servicios de reparación e instalación de maquinaria (16 % de impacto indirecto) o de energía y alimentación (ambos 10 %) (Cámara Comercio, 2021). La actividad turística está fuertemente relacionada con otros sectores de la economía española. Las empresas turísticas son intensivas en mano de obra y representan más del 9 % del empleo total nacional, siendo uno de los sectores con mayor concentración de empleados de base (Cabrer Borrás, 2020). Las cifras tanto de volumen económico como de turistas siguen una tendencia creciente, habiéndose superado los niveles prepandemia de 2019. El sector turístico está económicamente liderado en España por el sector privado, presenta un marco regulatorio multinivel (municipal-autonómico-nacional) que se caracteriza por un reparto diferencial de competencias en función del aspecto considerado (urbanismo, supervisión, gestión costera, etc.).

El análisis que se aborda en el presente capítulo, y la identificación de los riesgos asociados al sector turístico, se centran en el turismo internacional. Esta elección se fundamenta en que los efectos del turismo doméstico tienden a ser mayormente redistributivos dentro del territorio nacional, por lo que, aunque puede haber aumentos o disminuciones significativos a nivel local, el monto agregado a nivel nacional se mantiene relativamente estable. De hecho, en 2023, solo el 6 % de los viajes realizados por residentes tuvieron como destino el extranjero. El turismo internacional tiene una estancia (7,2 días) y gastos medios (177 € persona/día), significativamente superiores al doméstico (Web Turespaña, datos 2023). El principal país emisor es el Reino Unido, seguido de Francia y Alemania, con aportaciones significativas y en crecimiento de otros países europeos, como Italia, Países Bajos, Portugal, Bélgica e Irlanda. Estados Unidos de América es el país fuera del continente europeo que más turistas aporta (3,8 millones en 2023, INE). No se ha recuperado todavía el pico de visitantes procedentes de Reino Unido, Alemania y Suiza de 2017 (INE), lo que podría indicar una ralentización, estancamiento o reducción de visitantes de algunos de estos países emisores.

Según los datos de Turespaña y FRONTUR, los más de 85 millones de turistas internacionales en 2023 se dirigieron principalmente a Cataluña, Baleares, Canarias, Andalucía y Comunidad Valenciana, aunque el peso del gasto del turismo extranjero, en cuanto a proporción del PIB,

varía significativamente entre las distintas Comunidades Autónomas, con Baleares (45,72 %) y Canarias (36,89 %) a la cabeza, y Castilla-La Mancha (0,54 %) y Aragón (1 %) en el extremo opuesto (Cabrer Borrás, 2020). El punto de acceso principal es el aeropuerto (81 % de los turistas, especialmente en las islas donde alcanza el 98 %), seguido muy de lejos por la carretera (15 %). El flujo turístico es altamente estacional (aunque varía según destinos[3]), con una temporada alta concentrada en julio y agosto, una temporada media en los meses adyacentes de mayo-junio y septiembre-octubre, y una temporada baja en los meses de invierno y finales de otoño. El motivo principal del viaje es Turismo de Sol y Playa (33,9 %) seguido por Ocio (29,2 %) y Turismo Cultural (20,1 %), y entre las actividades principales se encuentran el Visitar Ciudades (62,8 %), Uso de Playas (62 %) y Compras (54,8 %). Los turistas internacionales utilizan mayoritariamente alojamientos de mercado (82,5 % de los turistas), siendo los hoteles los más comunes (75 % de pernoctaciones), seguidos de apartamentos (16 % pernoctaciones) y campings (8 % de pernoctaciones).

Las características del turismo en España (sol y playa, concentración en islas y Mediterráneo, dependencia económica, y estacionalidad) hacen que el sector sea especialmente sensible a impactos climáticos. Esta sensibilidad se ve reflejada en la atención prestada al sector en las evaluaciones nacionales de impactos derivados del cambio climático de 2016 y 2021. Desafortunadamente, no hay un estudio sectorial que integre todos los riesgos y haga una evaluación agregada de impactos, sino colecciones de riesgos analizados de manera separada. Los estudios de riesgos individuales se han concentrado en los efectos de la temperatura sobre la demanda turística general y, en particular, sobre el turismo de nieve y los impactos de la erosión/inundación costera; mientras que otros riesgos y subsistemas turísticos no han recibido una atención amplia o sostenida. Por ello, no disponemos de un análisis del sector al completo que aporte una visión general del conjunto de riesgos y sus consecuencias.

La definición del "sistema turístico" sigue el modelo del documento del MAGRAMA (2016) "Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector turístico" (continuado en MITECO, 2021), que considera dos componentes principales: Demanda y Oferta. Por *Demanda* se entiende la atracción turística hacia un destino según su belleza, condiciones climáticas y seguridad. En el concepto de *Oferta* se incluyen cuatro subcomponentes: Infraestructura de transporte (edificios e instalaciones destinados a facilitar el acceso al destino turístico), recursos turísticos (elementos culturales o naturales que generan desplazamiento de por sí), infraestructura de alojamiento y otras infraestructuras (edificios e instalaciones destinados a apoyar la visita a los recursos turísticos).

[3] La variación más significativa es la de Canarias, siendo en este caso la estacionalidad inversa, con la temporada alta durante los meses de otoño e invierno, y siendo también más estable (CONAMA, 2021).

Dentro de los recursos turísticos se han priorizado aquellos que son los principales en el caso español y/o han sido identificados en evaluaciones anteriores: costa y playa, medio marino, medio hídrico, montaña, nieve, espacios protegidos y recursos culturales. La Encuesta de Turismo Residente (ETR) del INE (versión agosto 2017) identifica otros tipos de turismo y de recursos asociados, que podrían ser potencialmente relevantes para el turismo internacional. Sin embargo, éstos no han sido considerados en la presente evaluación. Entre ellos se encuentran el turismo gastronómico, el deportivo, las visitas a familiares o amigos, el turismo de compras, el turismo de salud, el turismo religioso y otros[4]. Esta exclusión se debe a factores como la falta de estudios específicos, el pertenecer a pequeños nichos de mercado, la indefinición de las cadenas de impacto que permitan establecer causalidad o ausencia de riesgos identificados o asimilables para el contexto español.

Los riesgos se han definido principalmente en términos de volumen de turistas, y no en términos de rentabilidad del sector turístico, al estar esta última ligada en muchos casos a dinámicas no-climáticas y estructurales del sector (como el tipo de oferta turística, márgenes de retorno de inversión y rentabilidad, eficiencia en operaciones, etc.).

[4] La lista de tipos de turismo dentro del sector es aún más amplia debido a medidas de diversificación, diferenciación y cambios en la demanda turística.

3. Riesgos relevantes del sector turístico

Como se ha indicado anteriormente, los riesgos relevantes para el sector han sido identificados mediante una revisión bibliográfica exhaustiva, y a través de la aplicación de un análisis multicriterio se han seleccionado los riesgos clave para el mismo (AMC). Los riesgos relevantes del sector turístico son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas en el sector y que pueden llegar a afectar negativamente la operatividad, rentabilidad y sostenibilidad de este. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad que caracteriza al sector, y pueden cambiar con el tiempo y el espacio debido a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas (Reisinger *et al.,* 2020).

El sector se enfrenta a un amplio abanico de **peligros climáticos,** siendo las más destacadas las de naturaleza crónica, como el incremento de temperaturas, la reducción marcada de nieve, el aumento de la erosión costera y la subida del nivel del mar; y en menor medida las agudas, como el incremento de frecuencia e intensidad de eventos extremos (olas de calor, precipitación torrencial, inundación), deslizamientos de tierra o sequía. También aparecen peligros más indirectos o que son complementarios a peligros principales, como vientos, variación de los patrones de precipitación, el incremento de riesgo meteorológico de incendios forestales, o la mayor temperatura y acidez del mar.

En el Capítulo de Variables Climáticas se puede ver la descripción y proyecciones de evolución de cada peligro climático.

Para analizar la **exposición** del sector, se ha adoptado el modelo de sistema turístico (oferta y demanda) anteriormente descrito y utilizado en evaluaciones anteriores, para identificar los elementos que podrían verse afectados negativamente por los diversos peligros climáticos.

En primer lugar, se considera la exposición de los recursos que constituyen **la oferta turística**, ligada principalmente a su localización:

- **Recursos turísticos naturales.** En el caso de España, el principal recurso natural para el turismo son las playas distribuidas a lo largo de sus aproximadamente 8.000 kilómetros de costa, con mayores volúmenes de uso en el Mediterráneo e islas. Asimismo, hay 1.842 espacios naturales protegidos en España con instrumentos propios (el 14,8 % del territorio terrestre

y 4,9 % marino según BDN diciembre 2023), que, sumados a aquellos que se incluyen en redes de espacios protegidos europeos (p. ej. Red Natura 2000, LIC) e internacionales (p. ej. Reservas Biosfera, RAMSAR), dan una superficie terrestre de 36,8 % y superficie marina del 20,9 % protegidas en el territorio nacional (IEPNB, 2023). Finalmente, la nieve es un recurso turístico de primera importancia para los deportes de invierno como el esquí.

- **Recursos turísticos culturales.** El patrimonio cultural se encuentra distribuido por todo el territorio nacional, aunque gran parte de la infraestructura cultural (museos, galerías, salas de eventos, etc.) está en zonas urbanas.

- **Infraestructura de alojamiento.** Los hoteles son la tipología de alojamiento más utilizada, y están distribuidos mayoritariamente por la costa peninsular e islas, así como en la Comunidad de Madrid (en consonancia con los principales destinos turísticos). El resto de las comunidades de interior tiene una menor cantidad de infraestructuras de alojamiento.

- **Infraestructuras de transporte.** Las dos infraestructuras de transporte y acceso más expuestas son pistas y carreteras de montaña, y aeropuertos. Las pistas y carreteras de montaña discurren a lo largo de los más de 4000 km de sistemas montañosos, siendo necesarias para el acceso y disfrute del senderismo, montañismo y otras actividades de turismo activo. Se ven especialmente expuestas por la orografía y en muchos casos no existen alternativas de acceso. Los aeropuertos son significativos para el turismo, especialmente en las islas, por ser la vía de entrada principal del turista internacional. El resto de las infraestructuras de transporte no tienen un peso significativo dentro del uso del turista internacional (aunque sí pueden ser importantes para turistas domésticos según destinos), reflejan factores de exposición menores que no impiden la actividad turística y con problemáticas más asociadas a la gestión (congestión, frecuencia, uso), y además pueden presentar complementariedades entre ellas (lo que permite redistribuciones equivalentes puntualmente).

- **Otras infraestructuras.** Esta categoría engloba aquellos edificios e instalaciones destinados a apoyar la visita. Las infraestructuras más destacadas por su exposición al cambio climático son las estaciones de esquí, distribuidas por los sistemas montañosos de la mitad norte peninsular y Sierra Nevada.

Los factores de exposición del sector, por parte de la **demanda turística,** se entienden como aquellos aspectos que influyen en las percepciones del turista sobre la adecuación de los destinos a sus necesidades turísticas y que determinan sus preferencias. Se han considerado los tres factores principales ya establecidos en el informe de impactos de 2016 (MAGRAMA): Belleza/Valor Estético, Seguridad y Confort/Condiciones Climáticas. Dentro de la Belleza, se ha identi-

ficado el patrimonio natural y cultural. En Seguridad no se ha reconocido como significativo un factor asociado a violencia, pero sí a la salud, especialmente relacionado con la proliferación de enfermedades transmitidas por vectores como mosquitos, que tienen distintas potenciales distribuciones geográficas según la especie. Finalmente, en Condiciones climáticas se consideran las expectativas climáticas del turista, que en el caso de España suelen estar asociadas al sol y el buen tiempo en el Mediterráneo e islas.

En cuanto a la **vulnerabilidad,** adoptando la aproximación definida por Eklund *et al.* (2023), se observa que dicha componente comprende cinco dimensiones:

- La dimensión **físico-tecnológica** tiene en cuenta factores como la resiliencia/calidad de las infraestructuras, los tipos de equipamientos y la frecuencia de mantenimiento. Aquí también se incluyen los umbrales de confort biológico de los turistas (p. ej. temperatura), así como los umbrales operacionales de las actividades turísticas (p. ej. cantidad de nieve para la actividad de esquí).

- La segunda dimensión describe los factores relevantes desde una perspectiva **económica**. Así, la estacionalidad (alta), los perfiles de los flujos turísticos (principalmente sol y playa) y los niveles de diversificación económica y de servicios (alta dependencia según destinos) son factores clave. Esto, unido a la competitividad (alta o baja) de la oferta turística (calidad, precio, productos) y los recursos disponibles para mejorar, renovar y mantener dicha oferta, configuran una vulnerabilidad económica potencialmente significativa.

- Como tercer componente de la vulnerabilidad tenemos el aspecto **social.** La baja calidad del empleo turístico (estacionalidad/temporalidad y mayoritariamente empleos de escasa cualificación) es un factor de vulnerabilidad en hogares y poblaciones altamente dependientes de esta actividad, que puede verse agravado por cualquier alteración en el sector acentuando las desigualdades preexistentes. Asimismo, la baja percepción del riesgo (tanto de su existencia como de su urgencia) y el desconocimiento de las correspondientes medidas de acción (preventivas o de respuesta) son importantes factores de vulnerabilidad. Hay que indicar que las medidas de adaptación al cambio climático del sector turístico han recibido poca atención mediática (Fernandez-Reyes, 2021), lo que puede moldear esa percepción social. La combinación de alta dependencia de la actividad económica y escasa percepción del riesgo puede conducir a la priorización de medidas a corto plazo y no transformadoras (Loehr & Becken, 2024).

- La **vulnerabilidad ambiental** representa la cuarta dimensión y corresponde a las características propias de los recursos naturales relacionados directa o indirectamente con el

turismo. La presión antrópica y los modelos de uso del suelo y de los recursos naturales son factores que pueden magnificar la vulnerabilidad intrínseca de los ecosistemas vinculada con su sensibilidad y resiliencia.

- La dimensión de **gobernanza** engloba la actividad legislativa y regulatoria de las administraciones públicas, así como su capacidad de gestión del sector y sus distintos subsistemas. El marco regulatorio y de gestión de los recursos turísticos implica distintos niveles competenciales que representan tanto una oportunidad (a la hora de adaptarse a las circunstancias locales) como potenciales puntos de bloqueo que dificultan la coordinación y acción colectiva; especialmente en situaciones de "inercia institucional" (Loher, 2024) donde prevalece una visión de status quo y reformas marginales. La capacidad de actuación de las administraciones públicas puede variar en función de su nivel de conocimiento del sector y de los riesgos asociados, así como recursos disponibles. Así mismo, el sector turístico utiliza recursos naturales y culturales que pueden tener marcos regulatorios con objetivos de gestión divergentes de los del sector turístico. Por otro lado, los sistemas públicos de alerta temprana y respuesta, que inducen medidas preventivas o de adaptación ante peligros específicos, pueden impactar positiva o negativamente en el sector turístico (p. ej. restricciones de viaje durante la pandemia COVID 19). Finalmente hay que indicar que la percepción de la población sobre la confianza, capacidad y eficacia de los entes públicos puede tener un gran efecto sobre la comprensión, prevención y adaptación al riesgo, así como influir en el mayor respaldo social a las medidas "blandas" (p. ej. información, divulgación) respecto a las medidas "duras" (p. ej. relocalización, cambios de modelos productivos) que requieren más recursos y compromiso social y político (Loehr & Becken, 2024).

Al mismo tiempo, otros **factores de riesgo subyacentes** agravan la exposición y vulnerabilidad que presenta el sector ante los peligros climáticos:

- *Riesgos derivados de los cambios que afectan a los usos:* Decisiones o medidas, no específicas del sector turístico, que alteran el uso de los recursos, insumos e infraestructuras, y que pueden limitar su disponibilidad y coste.

- *Riesgos de mercado:* hace referencia a los cambios en la oferta y demanda de determinados productos y servicios. Así, destinos internacionales con oferta similar a la de España pueden mejorar su capacidad competitiva en precio, calidad o diversidad de productos; y, por otro lado, los turistas domésticos e internacionales pueden cambiar sus preferencias de consumo y experiencia turística.

- *Riesgos reputacionales o de percepción:* se relacionan con las condiciones de contexto

del destino turístico y la percepción de los consumidores respecto a su idoneidad debido a situaciones coyunturales, principalmente relacionadas con la seguridad (conflictos, accidentes de transporte, pandemias), restricciones y los costes que ello implica.

Finalmente, se han identificado los siguientes ejemplos de **impactos** en el sector turístico, a partir de la materialización de riesgos climáticos, que a su vez pueden tener efectos sobre otros ámbitos (utilizando los ámbitos PNACC como referencia):

- El aumento del consumo energético e hídrico, especialmente en momentos de estrés térmico o hídrico o de limitaciones energéticas, afectaría a los ámbitos Hídrico y de Energía.

- Los costes de rehabilitación, recuperación (incluyendo mercadotecnia e imagen) y adaptación de las infraestructuras y servicios turísticos afectarían a los sectores de Finanzas y Seguros, e Industria y Servicios.

- El aumento de costes de seguros y servicios complementarios al turismo, afectarían al sector Seguros, y a Industria y Servicios.

- El impacto social en zonas muy dependientes del turismo, que puede llevar a altas tasas de desempleo, estacionalidad o pérdida de población y servicios, o pérdida de actividad económica y social. O a la inversa, el impacto social en nuevas zonas turísticas, con el consiguiente incremento de población flotante y nueva competición por los recursos. Este impacto social se englobaría en el ámbito de Cohesión Social.

- El deterioro de imagen como destino turístico, sea por coste reputacional o por pérdida de competitividad, afectarían al sector de Industria y Servicios.

- La afección a actividades económicas complementarias por la reducción de actividad turística se concentraría en el sector de Industria y Servicios, y en el ámbito Financiero.

La **Figura 1** representa de forma esquemática todas las componentes previamente descritas: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector a dichos peligros, las diferentes vulnerabilidades y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la *Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático,* desarrollada recientemente por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los riesgos relevantes que caracterizan el sector.

Turismo

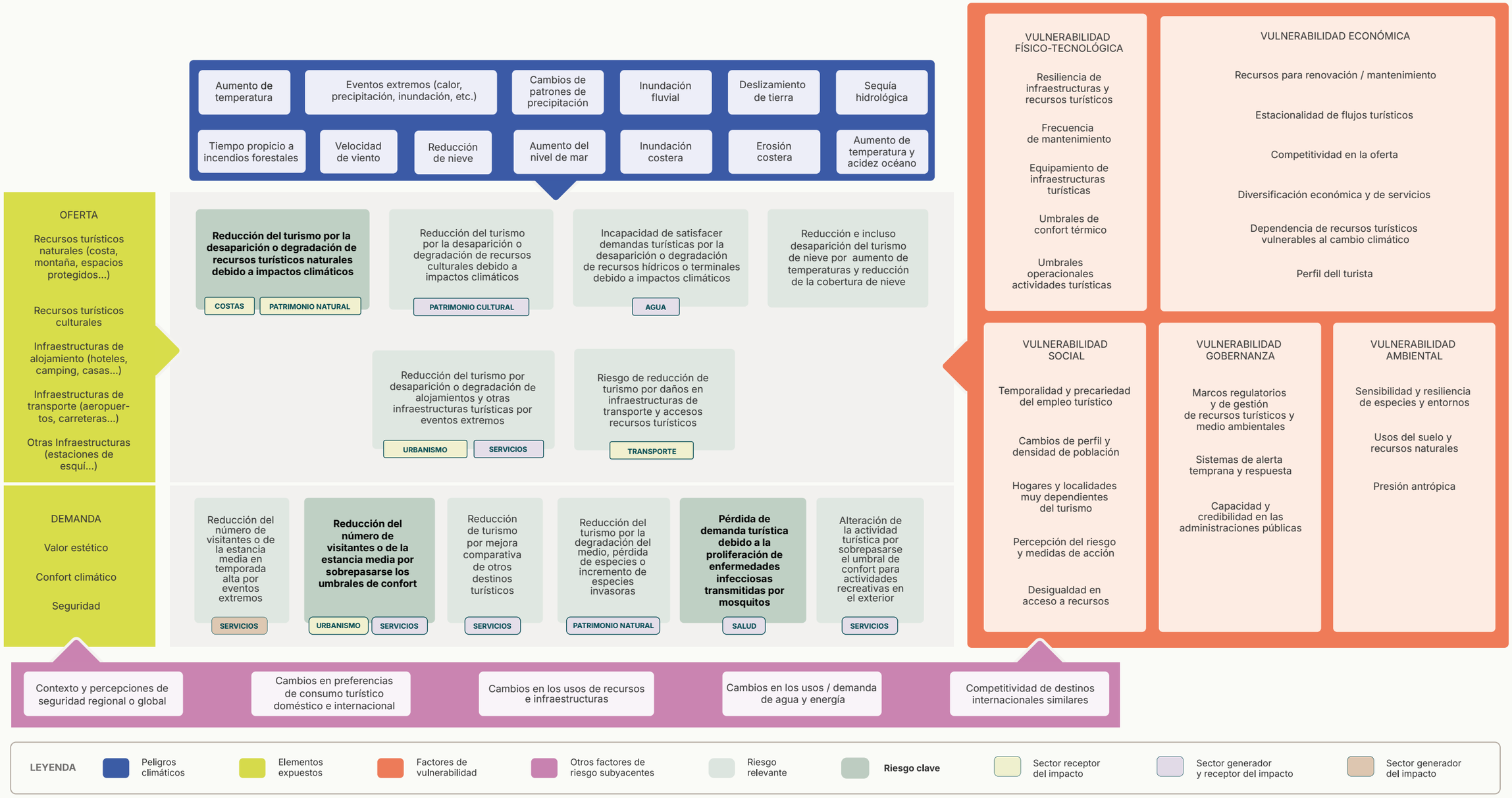


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector Turismo.

Los riesgos relevantes identificados para el sector Turismo se resumen en la Tabla 1 y se describen a continuación:

Riesgos relevantes relativos a la demanda de condiciones climáticas

Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort. Este es uno de los riesgos más estudiados y con mayor consistencia metodológica, al utilizar el Tourism Climate Index (TCI) o variantes como el Holiday Climate Index (HCI), usando la temperatura media como variable principal. Ya aparece en las evaluaciones de MMA[5] del 2005, MAGRAMA[6] del 2016 y MITECO[7] del 2021, y estudios más recientes como COACCH (2022), Díaz-Poso *et al.* (2023), Barrutiabengoa *et al.* (2024) o García-León *et al.* (2025).

Riesgo de alteración de la actividad turística por sobrepasarse el umbral de confort para actividades recreativas en el exterior. Este riesgo, que se enfoca en turismo activo en periodo estival, principalmente en zonas rurales o de montaña, no tiene un análisis a nivel nacional, aunque está parcialmente presente en las evaluaciones del 2016 y 2021, por lo que se ha extrapolado de literatura global (Steiger *et al.,* 2022), de otros países (Probstl *et al.,* 2021, para Austria) o estudios más locales (Tomatis 2020, sobre el Camino de Santiago).

Riesgos relevantes relativos a la demanda de seguridad

Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos, especialmente dengue, fiebre del Nilo, Chikunguña, Zika o fiebre amarilla. Mientras que este riesgo está recibiendo más atención desde la perspectiva de Salud Pública, hay muy poca investigación sobre su relación con y consecuencias sobre el sector turístico. No se ha visto reflejado en las evaluaciones nacionales de riesgos del sector hasta ahora. El estudio reciente más apto (León *et al.,* 2020) y que se enfoca en turismo de islas europeas, identifica este riesgo como el de mayor impacto sobre el comportamiento de los turistas.

Riesgos relevantes relativos a la demanda (general)

Riesgo de reducción de turismo por la mejora comparativa de otros destinos turísticos. Los cambios climáticos pueden cambiar los flujos turísticos sea porque las condiciones domésticas

[5] Ministerio de Medio Ambiente.

[6] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

[7] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

de los tradicionales países emisores mejoran, reduciéndose la necesidad de desplazarse, o bien porque los turistas optan por otros países que anteriormente no reunían las condiciones necesarias para ser atractivos. Mientras que este riesgo, de carácter indirecto, se identifica en múltiples estudios por su potencial redistributivo (ver Matei *et al.,* 2023), no hay un estudio específico para España que integre adecuadamente el aspecto transfronterizo y comparativo necesario. Por otro lado, Agulles *et al.* (2022) identifica la tipología del turista y las características socioeconómicas del destino como factores comparativos más importantes que las condiciones climáticas en sí.

Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media en temporada alta por eventos extremos. Está relacionado con las potenciales afecciones a la demanda turística por eventos extremos (tormentas, inundaciones, etc.). Este riesgo se identifica regularmente en la literatura, pero no hay estudios de impactos en España recientes. La literatura global suele indicar efectos temporales cortos sobre el volumen del turismo, a no ser que se produzcan daños en la infraestructura y recursos turísticos. Mateos (2023) identifica la costa como zona de principal afección.

Riesgos relevantes relativos a la demanda de belleza

Riesgo de reducción del turismo por la degradación del medio, pérdida de especies o incremento de especies invasoras. Hay muy poca literatura que evalúe el impacto de la degradación de la biodiversidad sobre la demanda turística en España. Este riesgo suele identificarse en estudios de los efectos climáticos sobre el turismo de buceo en sitios muy localizados, como las Islas Medes en Cataluña (Rodrigues *et al.,* 2016). Las evaluaciones nacionales lo mencionan indirectamente dentro del sector Turismo y lo suelen integrar dentro del capítulo de Biodiversidad. Aunque es un riesgo probablemente ampliable a múltiples ámbitos, es el medio marino donde queda más reflejado.

Riesgos relevantes relativos a la oferta de recursos turísticos

Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos. Este riesgo, que afecta a playas, montaña, bosques y costa como elementos físicos de uso turístico, ha recibido gran atención a lo largo del tiempo, especialmente en lo que concierne a las playas (por retroceso y reducción de su capacidad) y, en bastante menor medida, a los bosques (por incendios forestales). Aun así, no hay estudios que cubran todo el territorio nacional, sino trabajos de ámbito provincial o de comunidad autónoma (Junta Andalucía 2022, Garola *et al.,* 2022, Fundació ENT 2017). Lam González *et al.* (2022) identifican los incendios como potencial peligro con efecto significativo sobre el turismo en islas. Es importante indicar que este riesgo considera los recursos turísticos naturales como

espacios funcionales físicos o paisajísticos que permiten el desarrollo de actividad turística, pero no incluye los aspectos ecosistémicos (al no formar parte de la oferta turística).

Riesgo de reducción e incluso desaparición del turismo de nieve por aumento de temperaturas y reducción de la cobertura de nieve. Este riesgo es probablemente el mejor estudiado del sector turístico, con descripción de los componentes del riesgo, evaluaciones de impacto y medidas de adaptación detalladas (Campos *et al.,* 2016, 2018). Esto se debe a la criticidad que representa para el sector, ya que en algunas zonas podría llegar a desaparecer por completo, y en otras sufrir una reducción significativa. Este es el único riesgo relacionado con el turismo que se identifica como clave a nivel europeo por el informe EUCRA (EEA, 2024), aunque desde una perspectiva en seguridad hídrica y énfasis en zonas alpinas[8]. En el caso de España, el sector de turismo de nieve es relativamente pequeño, aunque concentradas en áreas muy específicas de alta montaña, con turistas principalmente domésticos.

Riesgo de incapacidad de satisfacer demandas turísticas por la desaparición o degradación de recursos hídricos y termales debido a impactos climáticos. Se ha identificado de forma recurrente, pero hay poca literatura sobre sus posibles impactos en el sector turístico, poniéndose más énfasis en las componentes de exposición o, parcialmente, vulnerabilidad. Un caso frecuentemente referenciado es el de la crisis hídrica en la zona turística de Benidorm en 1978, aunque Martínez-Ibarra (2016) identifica el impacto con el aumento de costes derivados de la crisis hídrica, y no con la reducción del turismo, que achaca a otros factores relacionados con la demanda. El riesgo sobre el sector termal y de balnearios se identificó en la evaluación de 2016 pero no ha habido seguimiento significativo desde entonces.

Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos culturales debido a impactos climáticos. Este es un riesgo que se identifica de manera regular pero que cuenta con muy pocos análisis de impactos detallados, o que se centren en aspectos particulares del patrimonio. ESPON (2022) hace una aproximación a los riesgos para museos, o García Sánchez et al (2020) se centra en fortificaciones costeras en las Islas Canarias.

Riesgos relevantes relativos a la oferta de infraestructuras

Riesgo de reducción del turismo por desaparición o degradación de alojamientos y otras infraestructuras turísticas por eventos extremos. En este caso sí que hay más estudios recientes, gracias principalmente a los PIMA ADAPTA COSTAS (por ejemplo, Gobierno de Canarias 2021). Es por ello por lo que los riesgos costeros están mejor representados, pero no hay estudios

[8] European Climate Risk Assesment, informe elaborado por la Agencia Europea del Medio Ambiente.

de impacto en España relativos a otros eventos extremos. La reducción del turismo puede ser significativa si hay daños importantes sobre las infraestructuras turísticas y la recuperación se alarga en el tiempo, al reducir la capacidad de recepción de turistas y el desarrollo de actividades.

Riesgo de reducción de turismo por daños en infraestructura de transporte y accesos a recursos turísticos. Fue ya identificado en la evaluación de 2016, pero no ha habido continuidad con estudios específicos sobre el sector. Extrapolando de la literatura general sobre transporte y turismo, así como los datos de Turespaña (2023), se identifican tanto los aeropuertos (por ser la vía de entrada principal del turista, 81 % en 2023) como las carreteras y accesos de montaña (por su exposición y la falta de accesos alternativos) como las dos principales infraestructuras a considerar. Tanto el transporte marítimo (2,2 % en 2023) como el ferroviario (0,4 % en 2023) representan una pequeña parte del turismo internacional. Hay que recordar que los medios de transporte usados por el turismo doméstico son marcadamente diferentes (75 % vehículo propio, 12 % aéreo, 6 % tren. SEGITTUR, 2023).

Tabla 1. Listado de riesgos relevantes en el sector de Turismo.

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR12.1	Demanda	Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media en temporada alta por eventos extremos	
RR12.2	Demanda/Clima	Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort	RC12.1
RR12.3	Demanda	Riesgo de reducción de turismo por la mejora comparativa de otros destinos turísticos	
RR12.4	Demanda/Clima	Riesgo de alteración de la actividad turística por sobrepasarse el umbral de confort para actividades recreativas en el exterior	
RR12.5	Demanda/Seguridad	Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos	RC12.2
RR12.6	Oferta/Recursos Turísticos/ Costa, Playa, Montaña	Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos naturales	RC12.3

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Id.	Subsistemas	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR12.7	Demanda/Belleza	Riesgo de reducción del turismo por la degradación del medio, pérdida de especies o incremento de especies invasoras	
RR12.8	Oferta/Infraestructura de alojamientos y otras infraestructuras	Riesgo de reducción del turismo por desaparición o degradación de alojamientos y otras infraestructuras turísticas por eventos extremos	
RR12.9	Oferta/Recursos Turísticos/ Hídrico	Riesgo de incapacidad de satisfacer demandas turísticas por la desaparición o degradación de recursos hídricos y termales debido a impactos climáticos	
RR12.10	Oferta/Recursos Turísticos/Nieve	Riesgo de reducción e incluso desaparición del turismo de nieve por aumento de temperaturas y reducción de la cobertura de nieve	
RR12.11	Oferta/Infraestructura de Transporte	Riesgo de reducción de turismo por daños en infraestructura de transporte y accesos a recursos turísticos	
RR12.12	Oferta/Recursos Turísticos/ Culturales	Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos culturales debido a impactos climáticos	

4. Riesgos clave

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sector de turismo, los doce riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts and Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector del turismo y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos que son catalogados como “Riesgos Clave” y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR12.2 Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort. (RC12.1).
- RR12.5 Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos. (RC12.2).
- RR12.6 Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales. (RC12.3).

Otros riesgos significativos, no considerados clave, pero que requieren un seguimiento activo son:

- RR12.3 Riesgo de reducción de turismo por la mejora comparativa de otros destinos turísticos.
- RR12.8 Riesgo de reducción del turismo por desaparición o degradación de alojamientos y otras infraestructuras turísticas por eventos extremos.
- RR12.10 Riesgo de reducción e incluso desaparición del turismo de nieve por aumento de temperaturas y reducción de la cobertura de nieve.

A continuación, se describen en detalle los riesgos clave identificados.

4.1. RC12.1 Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort

Este riesgo aborda los efectos derivados del cambio climático desde el punto de vista de la demanda del turista de condiciones climáticas adecuadas para el disfrute de su estancia. El motivo para considerarlo como clave se centra principalmente en el elevado alcance que supone en términos de extensión, y la concentración del riesgo en áreas donde el turismo representa una parte significativa de la economía. Así mismo, el factor principal del peligro (la temperatura) ya está incrementándose (y cruzando umbrales críticos de temperatura, Espín, 2023) y puede provocar impactos económicos significativos tanto en el propio sector como en otros. Los índices TCI/HCI[9], comunes a la hora de analizar este riesgo, presentan algunas limitaciones que podrían ser complementadas por otras metodologías (Demiroglu, 2020) para validar y dar más posibilidades de segmentación y detalle en los datos.

La **Figura 2** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de la combinación de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco y a partir de él se representan los distintos potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

El **peligro** de este riesgo suele ser representada a través de un índice, originalmente elaborado por Mieczkowski en 1985, el Tourism Climate Index (TCI). Este índice, y sus variantes (incluyendo el Holiday Climate Index – HCI[10]), pondera principalmente tres variables climáticas[11]: Temperatura, Precipitación y Viento, siendo la temperatura la que más peso tiene. Las proyecciones indican (Capitulo Variables Climáticas) un incremento de temperaturas, una reducción de precipitaciones

[9] Holiday Climate Index (HCI) y Tourism Climate Index (TCI).

[10] Para ver una comparativa de los dos índices, ver Barrutiabengoa *et al.,* (2024) Climate change scenarios and the evolution of Spanish Tourism.

[11] Hay dos variables adicionales, Nubosidad y Humedad, que no se han incluido al no formar parte del listado de peligros climáticos de este estudio.

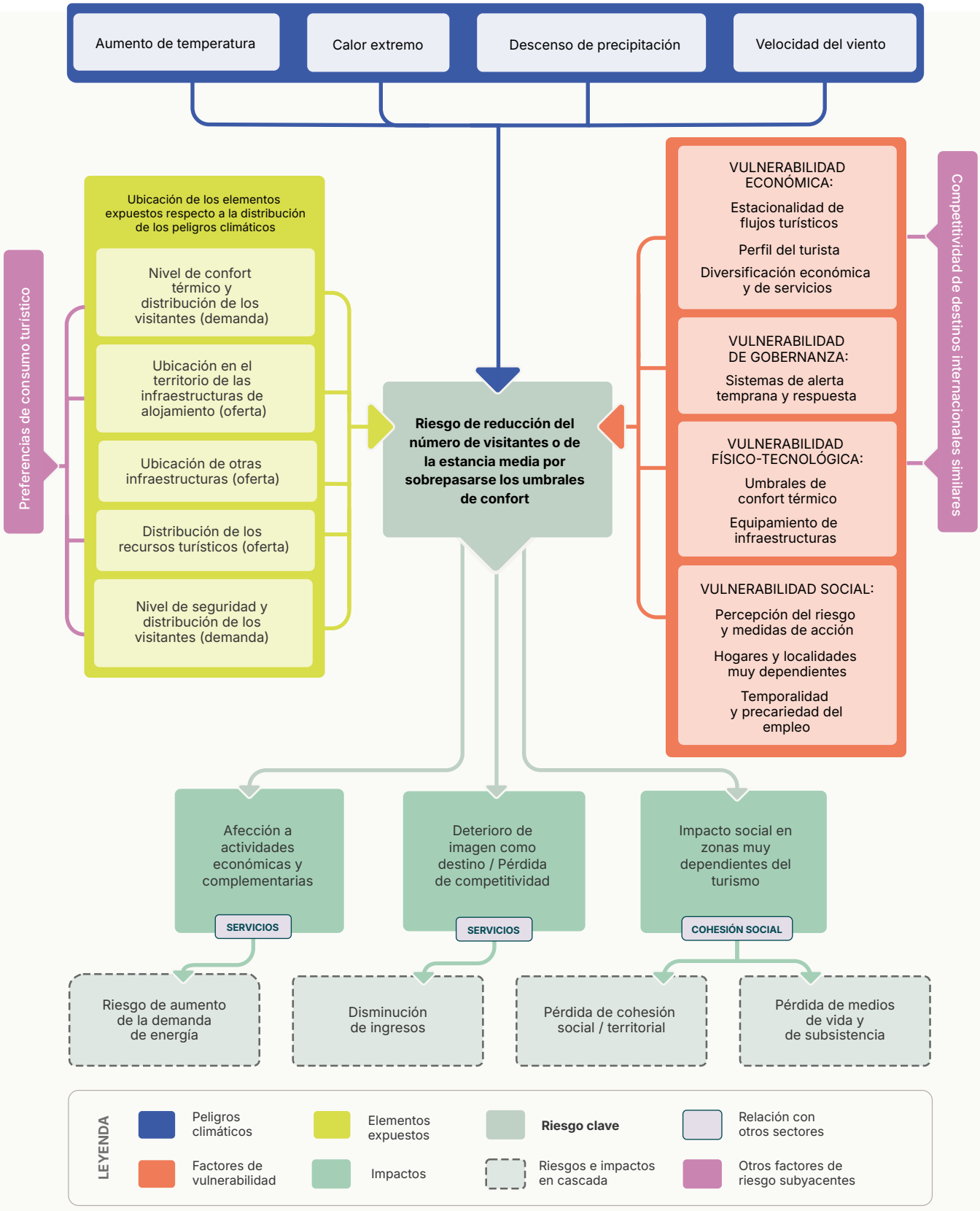


Figura 2. Cadena de impacto Riesgo clave 12.1. Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort.

medias pero un aumento de precipitaciones extremas, y ligeros cambios en velocidad de viento (pero con alta incertidumbre). Mientras que las temperaturas máximas suelen tener más visibilidad por la atención de los medios a las olas de calor, son las temperaturas medias las que se suelen utilizar como referencia, al reflejar mejor la sensación térmica del turista[12].

El factor **exposición** en relación con este riesgo puede analizarse desde dos perspectivas. Por un lado, desde la perspectiva de la demanda, las preferencias del turista internacional por determinadas condiciones climáticas han favorecido que la costa mediterránea y las islas hayan sido un destino prioritario en el pasado (y aún en el presente). Un factor adicional de la demanda sería la búsqueda de seguridad, en este caso relacionada con destinos seguros para la salud ante posibles eventos de calor extremo. Por su parte, desde el punto de vista de la oferta, gran parte de las infraestructuras turísticas se encuentran mayoritariamente en las zonas más expuestas al incremento de temperatura (Mediterráneo). Por otro lado, el recurso turístico natural que se ve más ligado a este riesgo son las playas[13], que están distribuidas por toda la costa española. Los destinos costeros son más sensibles a variaciones TCI que otros destinos urbanos, rurales, o naturales (Matei *et al.,* 2023, Barrutiabengoa *et al.,* 2024, García-León *et al.,* 2025). Entre los estudios recientes[14] a nivel autonómico y local se pueden destacar los de la Comunidad Valenciana (Miró y Olcina, 2020), Canarias (Carrillo *et al.,* 2022), Granada (Millán López, 2023) o la costa norte atlántica (Rasilla, 2021).

En cuanto a la **vulnerabilidad**, identificamos cuatro áreas principales, siendo la principal la **vulnerabilidad física-tecnológica.** El impacto negativo por disminución de confort se asocia generalmente a partir de 35 °C, aunque varía según el perfil de turista (Bombana, 2023). El umbral de mortalidad/morbilidad para calor extremo varía según localización, perfil del viajero y grado de aclimatación (Ranasinghe, 2021) pero no se disponen estudios específicos para España. En este ámbito resulta esencial la capacidad para controlar eficazmente la temperatura en las infraestructuras turísticas. Por ello, el recurso más extendido es el aire acondicionado, aunque también se pueden reducir las temperaturas de forma efectiva con equipamientos más sencillos como sombrillas o ventiladores, haciendo rehabilitaciones energéticas en los edificios o incorporando elementos vegetales y zonas de agua en los entornos para crear “refugios térmicos”.

[12] El proyecto COACCH (2022) indica que la temperatura media tiene un efecto mayor que la temperatura máxima en la sensación de malestar.

[13] Distintivo aquí es el enfoque en zonas urbanas (HCI Urban) de Diaz-Poso (2023).

[14] Posteriores a la última evaluación nacional 2020-21.

Dentro de la **vulnerabilidad económica,** el nivel de dependencia de las economías locales del sector turístico y/o sus productos por falta de diversificación es bastante alto según localizaciones. Asimismo, el perfil del turista y sus recursos económicos pueden reflejar la capacidad de adaptación al riesgo mediante la opción por actividades turísticas alternativas. Por ejemplo, Bombana (2023) identifica una mayor sensibilidad a la temperatura entre turistas extranjeros, y Lam-González (2021) una segmentación de preferencias significativas según país de origen y nivel socioeconómico. Por último, la estacionalidad de los flujos turísticos y la coincidencia de la temporada alta con los periodos en los que se sobrepasarán los umbrales de confort, presentan un reto significativo para la oferta (reajuste de periodos de actividad económica) y requieren de la flexibilidad necesaria.

Como **vulnerabilidad social,** los factores estructurales relacionados con la baja calidad del empleo turístico (estacionalidad/temporalidad y mayoritariamente empleos de escasa cualificación) suponen un factor de vulnerabilidad en hogares y poblaciones altamente dependientes de la actividad turística, que puede verse agravado por cualquier alteración en el sector, acentuando las desigualdades preexistentes.

Finalmente, en el terreno de la **vulnerabilidad de gobernanza,** hay que mencionar los mecanismos de alerta temprana y respuesta de las administraciones públicas, especialmente en el caso de olas de calor, dado que pueden estar más adaptados a las necesidades y perfil de la población residente que a los de los turistas.

Como **factores subyacentes** del riesgo resaltar la competitividad de destinos internacionales similares, o que se pueden convertir en similares por el cambio de condiciones climáticas. Dado que gran parte de los turistas internacionales vienen del oeste y norte de Europa, zonas que van a experimentar, en general, un aumento de las temperaturas que las colocará con más frecuencia en los rangos óptimos de confort climático es posible que parte de ese turismo se quede en sus países de origen. Un segundo factor subyacente es el potencial cambio de preferencias de consumo turístico, que pueden conllevar una reducción o aumento de la demanda de los diferentes recursos turísticos disponibles en España.

Los tres **impactos principales** que se identifican en relación con este riesgo clave son:

- Afección a actividades económicas y complementarias: a través de la reducción del número de visitantes o pernoctas, el margen de rentabilidad económica del sector se puede ver reducido, con el potencial añadido de impacto en cascada en otros sectores económicos. Esto se vería amplificado en zonas con poca diversificación económica en las que el turismo representa un porcentaje importante de la actividad. García-León

(2025) proyecta reducciones de pernoctaciones crecientes en función de los incrementos de la temperatura media, de 0,21 % (+1.5 °C), 0,63 % (+2 °C), 3,73 % (+4 °C). No hay estudios de impacto económico, pero basándonos en los datos de García-León y en el dato del gasto medio diario de 177 € en 2023 (Turespaña), tendríamos una aproximación muy básica[15] de pérdidas de 99 millones de euros en 1,5 °C, 299 millones de euros en 2 °C y 1.771 millones de euros en 4 °C. Esta aproximación es meramente descriptiva, para dar una idea general.

- Impacto social en zonas muy dependientes del turismo. Ligado al impacto anterior, el impacto social puede ser significativo por la pérdida de empleo y actividades sociales y de servicios relacionadas con una mayor densidad de población. La cohesión social local se podría ver afectada. No hay estudios de impacto específicos, pero se pueden hacer aproximaciones a nivel territorial, dado el impacto muy desigual geográficamente, con incrementos de demanda en la costa norte, y pérdidas significativas en costa mediterránea e islas (Barrutiabengoa, 2023).

- Deterioro de imagen y pérdida de competitividad. Si el destino se vive y percibe como no adecuado para esta actividad turística, esto puede conllevar un deterioro de imagen como destino para otras actividades turísticas o económicas. Así mismo puede haber una pérdida de competitividad, sea por la mejora comparada de las condiciones climáticas de otros destinos similares, como por el coste y restricciones que pueden conllevar las medidas de adaptación. Estos impactos podrían afectar a otros servicios y sectores. No hay estudios de impacto específicos.

[15] Número de pernoctaciones reducidas por escenario climático x gasto medio diario= potenciales pérdidas de gasto.

Ficha 1. Análisis del riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	No hay evidencia de impacto	Limitada	Limitada	Sustancial
	En la evolución reciente del turismo en España destaca el crecimiento del número de visitantes. No hay evidencias de materialización del impacto, aunque los componentes del riesgo hayan aumentado.	Reducción de 0,21 % en pernoctaciones (García-León *et al.*, 2025). Alrededor de 99 millones de euros en pérdidas (aproximación propia).	Reducción en 0,63 % en pernoctaciones (García-León *et al.*, 2025). Alrededor de 299 millones de euros en pérdidas (aproximación propia).	Reducción en 3,73 % en pernoctaciones (García-León *et al.*, 2025) Alrededor de 1.771 millones de euros en pérdidas (aproximación propia).
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Alto ◆◆◆ · Media · Alto	Medio ◆◆ · Media · Alto	Medio ◆◆ · Media · Alto	Bajo ◆ · Baja · Alto
	La metodología indica que ya tendríamos que estar notando el impacto, pero el volumen turístico sigue aumentando. Los factores de aumento exógenos no son identificados por los estudios.	Proyecciones no-dinámicas del sector reducen confianza en datos. Proyecciones con niveles de calentamientos disponibles.	Proyecciones no-dinámicas del sector reducen confianza en datos. Proyecciones con niveles de calentamiento disponibles.	Proyecciones no-dinámicas del sector reducen confianza en datos, aún más a medio-largo plazo. Proyecciones con niveles de calentamiento disponibles.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	El peligro principal es Temperatura Media, que se correlaciona mejor con el riesgo que Temperatura Máxima. Adicionalmente Precipitación y Viento son tenidos en cuenta en cálculos TCI y HCI.	Tal como se ha definido el sistema turístico, los factores de exposición son: • Demanda de condiciones climáticas. • Demanda de seguridad/ salud. • Oferta de Infraestructuras de alojamiento y turismo. • Oferta de recursos naturales, donde se desarrolla parte de la actividad turística. La distribución geográfica del riesgo es nacional, pero con distintos niveles de intensidad e impactos. Los destinos turísticos costeros son más sensibles a variaciones en los peligros.	• Umbrales de confort humano. • Equipamientos de gestión de temperatura de las infraestructuras. • Diversificación económica y de servicios de los destinos. • Perfil de los turistas. • Estacionalidad de los flujos turísticos. • Dependencia social del turismo y la calidad del empleo. • Mecanismos de alerta temprana y respuesta de las administraciones públicas.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	España es uno de los principales destinos de turismo internacional, cambios climáticos globales pueden llevar a que turistas internacionales se queden en sus países de origen o escojan otros destinos, o que turistas domésticos opten más por destinos en el extranjero.
Territoriales	Todo el territorio español se ve afectado por este riesgo, aunque de manera muy desigual, con impactos más negativos en el sur, costa mediterránea e islas, según provincias, y potencialmente positivos en la costa norte (ver Barrutiabengoa 2023 para estimaciones provinciales). Las diferencias territoriales son limitadas en niveles de calentamiento de 1,5-2 °C, pero especialmente significativas en escenarios RCP 8.5 /3-4 °C. Por ejemplo, Matei *et al.,* (2023) proyectan, en un escenario de 4 °C, un crecimiento de la demanda de 7,22 % para Cantabria, y una pérdida de 8,16 % para las Islas Baleares.
Sociales	Los factores sociales están relacionados principalmente con la dependencia de localidades y hogares de actividades turísticas, y la temporalidad/precariedad de parte del empleo del sector. Otro aspecto social para considerar serían los efectos de redistribución o desplazamiento del turismo a zonas previamente con menor presencia, lo cual puede generar tensiones locales. Los estudios de impactos no evalúan las vulnerabilidades e impactos sociales.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	Muchas medidas de control climático en infraestructuras conllevan un aumento de consumo de energía y agua, lo que puede estresar sistemas que ya están bajo presión.
Género	Los estudios disponibles, en general, no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo. Los estudios generales del sector indican dos desigualdades principales (Martínez Gayo, 2020): • Mayor precariedad laboral/contratos a tiempo parcial en mujeres. • Remuneración inferior en mujeres.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	El umbral de temperatura/confort medio varía en la literatura, pero está alrededor de 35 °C (con variaciones según perfil del turista, Bombana, 2023). El proyecto COACCH (2022) identifica los 40 °C de temperatura máxima como el umbral a partir del cual desciende el número de noches de estancia. El mismo proyecto indica que el aumento de temperatura media tiene un efecto negativo mayor sobre el turismo que el incremento de temperaturas máximas en el sur de Europa. El umbral de mortalidad/morbilidad para calor extremo varía según localización, perfil del viajero y aclimatación (Ranasinghe, 2021). Los estudios disponibles no analizan con tanto detalle.
Lock-in/Bloqueo	Las zonas turísticas más afectadas han recibido altos niveles de inversión pública y privada en el pasado que está parcialmente amortizada. Aun así, y debido a la inversión pasada y el peso económico y social del turismo, se puede producir una inercia institucional que favorezca el continuismo del modelo turístico y de inversiones, y limite las opciones de adaptación (Loher, 2024). Asimismo, los riesgos aumentan con nuevas inversiones turísticas que no tienen en cuenta los potenciales cambios de flujos turísticos o no incluyen medidas de adaptación adecuadas.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel nacional: • No se han identificado planes o medidas en curso de gestión del riesgo. • El Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud 2024 no menciona el sector turístico. • La Estrategia de Sostenibilidad Turística en Destinos (MINTUR, 2022) no identifica este riesgo o medidas relacionadas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel autonómico/local: • Los planes contra los efectos del calor suelen estar enfocados a población en general y olas de calor. Ejemplo reciente de plan que sí incluye el turismo es el de la Junta de Andalucía (2023). • Los planes de adaptación al cambio climático a veces identifican el riesgo, pero raramente incluyen medidas de gestión del riesgo especificas al turismo. Ejemplos recientes que incluyen algunas medidas de adaptación son los planes del Ayuntamiento de Zaragoza (2023), Agencia de la Energía de la Diputación de Cádiz (2023), la Generalitat Valenciana (2023) o el Ayuntamiento de Córdoba (2024). En general es un riesgo identificado, pero con escasas medidas específicas, aunque hay una mayor atención en los planes más recientes.
Gobernanza de gestión del riesgo	La Unión Europea solo tiene competencias de apoyo en el sector turístico, por lo que se rige por la estructura competencial de cada estado miembro. En el caso de España, y para este riesgo, las administraciones públicas son: • Administración central (coordinación y apoyo). Ministerio de Turismo, Ministerio de Salud, AEMET. • Comunidades Autónomas (en su competencia reguladora del sector y potencial afección a la salud pública). Consejerías o Departamentos de Turismo, y Salud. Agencias meteorológicas autonómicas. • Autoridades locales (en sus competencias de urbanismo y gestión de recursos locales). Municipios y Diputaciones. Concejalías de Turismo, Urbanismo, Servicios Sociales, Obras, y Emergencias. El sector turístico es mayoritariamente privado, con participación pública principalmente a nivel regulatorio y promocional. Por ello la inclusión del sector privado es esencial a la hora de la gestión del riesgo y las medidas de adaptación.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación identificadas suelen ser genéricas y no adaptadas específicamente al turismo. En muchos casos son transversales a la población en general al estar relacionadas con planificación y diseño urbano, normativa de edificación con mejoras de aislamiento, o la adecuación de refugios climáticos ante olas de calor. Hay una medida de adaptación implícita, la desestacionalización, pero dada su complejidad transfronteriza y estructural, de hábitos y periodos vacacionales, no se encuentra articulada.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Negativo, ante el potencial incremento del consumo energético para el control de temperaturas y de materiales. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Negativo, ante el potencial incremento de costes de energía y transporte que afectarían a la competitividad del sector según el modelo económico actual.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Déficits de información	• TCI/HCI segmentan según destino, pero no según perfil del turista. Necesidad de más estudios según perfil del turista. Barrutiabengoa *et al.,* (2023) hace una segmentación inicial de doméstico e internacional. Lam-González *et al.,* (2021) y Bombana *et al.,* (2023), en estudios que no aplican metodología TCI/HCI, muestran diferentes perspectivas del riesgo según origen y factores socioeconómicos del turista. • TCI tiene limitaciones metodológicas, resueltas parcialmente por HCI. Sería recomendable la aplicación de otras metodologías a este riesgo que permitan tanto la validación de resultados como distintas perspectivas sobre el riesgo. • El incremento del turismo en España a pesar del incremento de temperaturas actual puede indicar que los estudios no están teniendo en cuenta variables exógenas que limitan los impactos. • No hay evaluaciones concluyentes que indiquen el nivel de riesgo/impacto actual, y no hay proyecciones económicas de los impactos de este riesgo. • Se necesita generar escenarios socioeconómicos para el sector turístico en España para poder proyectar distintas opciones de adaptación en conjunción con las proyecciones climáticas. Como se ha indicado anteriormente, hay pocas medidas de adaptación especificas relativas a este riesgo.
Recomendaciones de priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, pero debe permanecer bajo observación para valorar su evolución. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.2. RC12.2 Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos

Este riesgo aborda los efectos del cambio climático desde la perspectiva de la demanda del turista de condiciones de seguridad para la salud ante enfermedades infecciosas transmitidas por vectores como el dengue, paludismo/malaria, fiebre amarilla o la del Nilo. Estas enfermedades tienen un mecanismo de transmisión complejo, ya que requieren un agente ya infectado (humano, o un reservorio animal), un vector capaz de llevar el virus o bacteria, y un receptor susceptible (humano o animal) que puede convertirse en punto de origen para una nueva transmisión. Hay que indicar que la presencia del vector no es suficiente por sí misma, ya que sin agentes infectados (de origen o recepción) la enfermedad no se transmite.

Algunas de estas enfermedades han tenido presencia histórica en España (paludismo, fiebre amarilla o dengue) pero fueron erradicadas, otras han continuado su presencia (como la enfermedad de Lyme), mientras que algunas son emergentes (como la fiebre del Nilo) en el territorio español, sea por la introducción de agentes infectados que inician la cadena de transmisión o por la aparición de nuevos vectores, como el mosquito *Aedes albopictus* (Ministerio Sanidad, 2023).

Este riesgo se centra en las condiciones climáticas que favorecen la presencia de dos géneros de vectores, los mosquitos Aedes (transmisores de dengue, la chikunguña y el zika), los mosquitos *Culex* (transmisores del Virus del Nilo Occidental) y en menor medida los mosquitos *Anopheles* (paludismo), y no considera los efectos que tienen en los ciclos propios de los virus o bacterias.

Aunque hay muy poca literatura específica sobre cambio climático, enfermedades infecciosas por vectores y turismo, el motivo para considerarlo como clave se centra principalmente en el elevado alcance que supone en términos de extensión (variable según vector), el potencial efecto económico y los impactos en cascada. Así mismo, el factor principal del peligro (temperatura) ya está incrementando y algunas de estas enfermedades tienen cada vez más prominencia mediática. Este riesgo se puede considerar de baja probabilidad (debido a la intermediación de las medidas preventivas y de respuesta de salud pública) pero de muy alto impacto, lo que le hace cualitativamente diferente del resto de riesgos clave de este sector, que tienen una dinámica más incremental.

La **Figura 3** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. En este caso, tenemos un riesgo intermedio que conecta con otro ámbito sectorial (Salud), tras el cual el riesgo clave está en el centro del marco, y a partir del cual se representan los posibles impactos y riesgos en cascada identificados, propios del sector o interrelacionados con otros sectores.

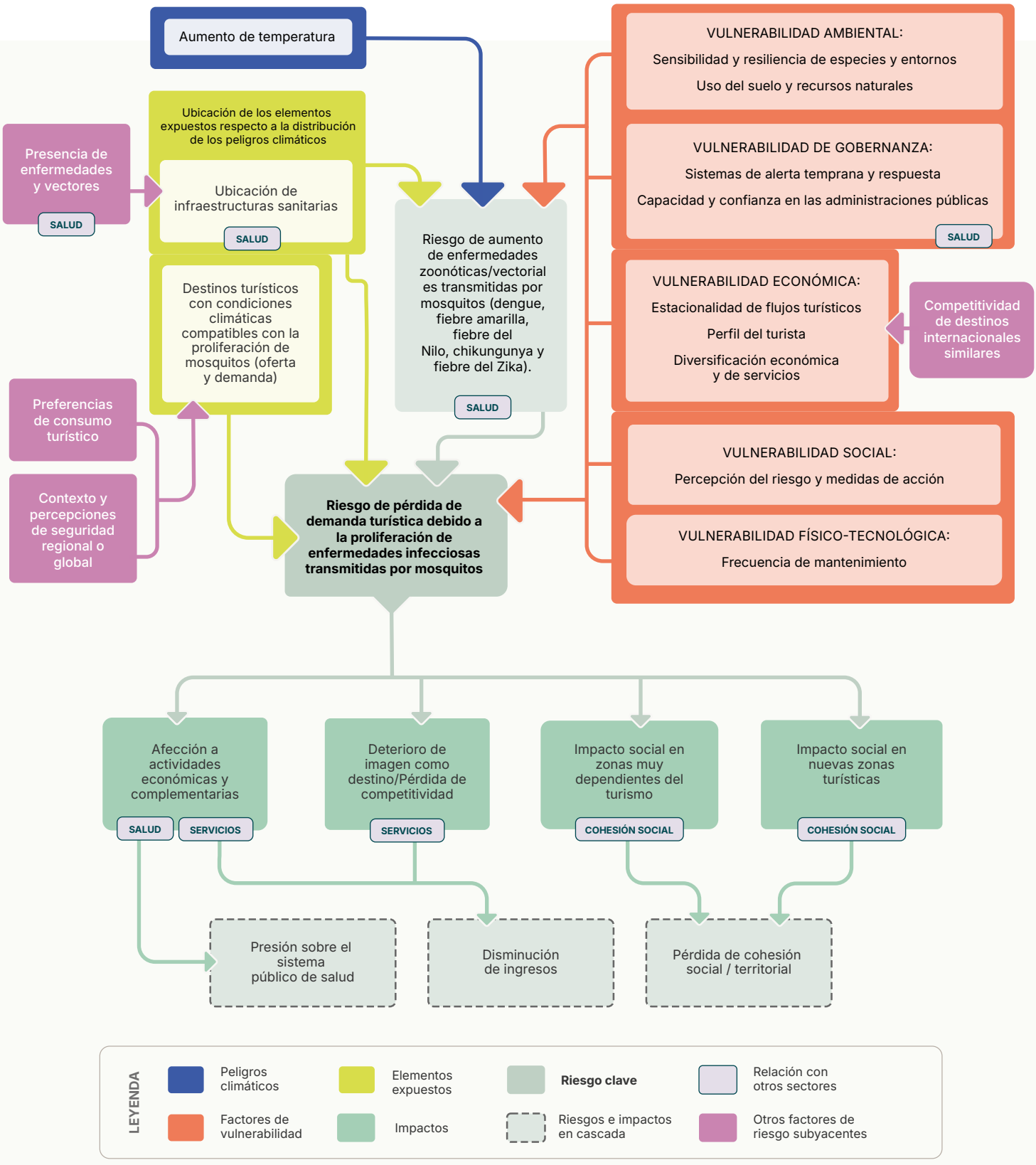


Figura 3. Cadena de impacto Riesgo clave 12.2. Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos.

En este caso dividimos las componentes del riesgo en dos partes. Una enfocada en el riesgo intermedio desde el punto de vista del ámbito turístico, y la segunda con énfasis en el riesgo clave sectorial.

En el riesgo intermedio **Riesgo de expansión de vectores infecciosos**[16], *[RR1.4 Riesgo de aumento de enfermedades zoonóticas/vectoriales transmitidas por mosquitos como consecuencia de cambios en las variables climáticas]*, el peligro climático más relevante identificado es el incremento de temperatura, aunque varía significativamente dependiendo de las especies. La temperatura más alta acelera el desarrollo de larvas y algunas especies tienen capacidad de hibernación, por ello, sus periodos de actividad en el Mediterráneo pueden ir de abril a diciembre, con el pico en septiembre. La segunda variable significativa es la de precipitación, ya que los mosquitos requieren agua para su ciclo reproductivo, y que refleja tanto un riesgo (inundaciones, aumento de precipitación) como una oportunidad (sequia). Este riesgo intermedio es multifactorial, en el que el componente climático interactúa con factores sociales (comportamiento, densidad recursos, etc.) como institucionales (sistemas de alerta y respuesta, cobertura sanitaria, medios y conocimientos para prevención y tratamiento, etc.).

Dentro de los factores de **exposición**, es fundamental indicar la presencia de vectores y enfermedades, así como las infraestructuras existentes.

En cuanto a vectores, tanto el género *Culex* como el género *Anopheles* tienen amplia distribución en España. El género Aedes está presente en la costa norte española, Canarias y el Mediterráneo. En cuanto a enfermedades, el mayor número de casos son importados (dengue, chikunguña, Zika, fiebre amarilla, paludismo), con pocas transmisiones locales registradas hasta el momento. Al ser casos importados, las zonas de mayor exposición suelen ser áreas urbanas con alto número de viajeros a/del extranjero, García-García (2024) señala a Madrid, Barcelona y Valencia como lugares de alta importación de casos. El Virus del Nilo Occidental (VNO) está presente en el suroeste de Andalucía, Extremadura y Delta del Ebro, con transmisión autóctona y reservorios animales (Ministerio Sanidad, 2023). En general, se identifica las zonas costeras, especialmente Cataluña, Comunidad Valenciana y la isla de Mallorca, como zonas de mayor riesgo futuro (Fernández-Martínez, 2024), y dentro de estas áreas los espacios urbanos.

En relación con las infraestructuras, por un lado, están las sanitarias, encargadas de hacer seguimiento y promover medidas de prevención y salud pública, y distribuidas por todo el territorio nacional. Por otro, están las infraestructuras turísticas, que por su localización pueden afectar

[16] Para más información sobre vectores, consultar el Plan Nacional de Prevención, Vigilancia y Control de las Enfermedades Transmitidas por Vectores del Ministerio de Sanidad (Abril 2023).

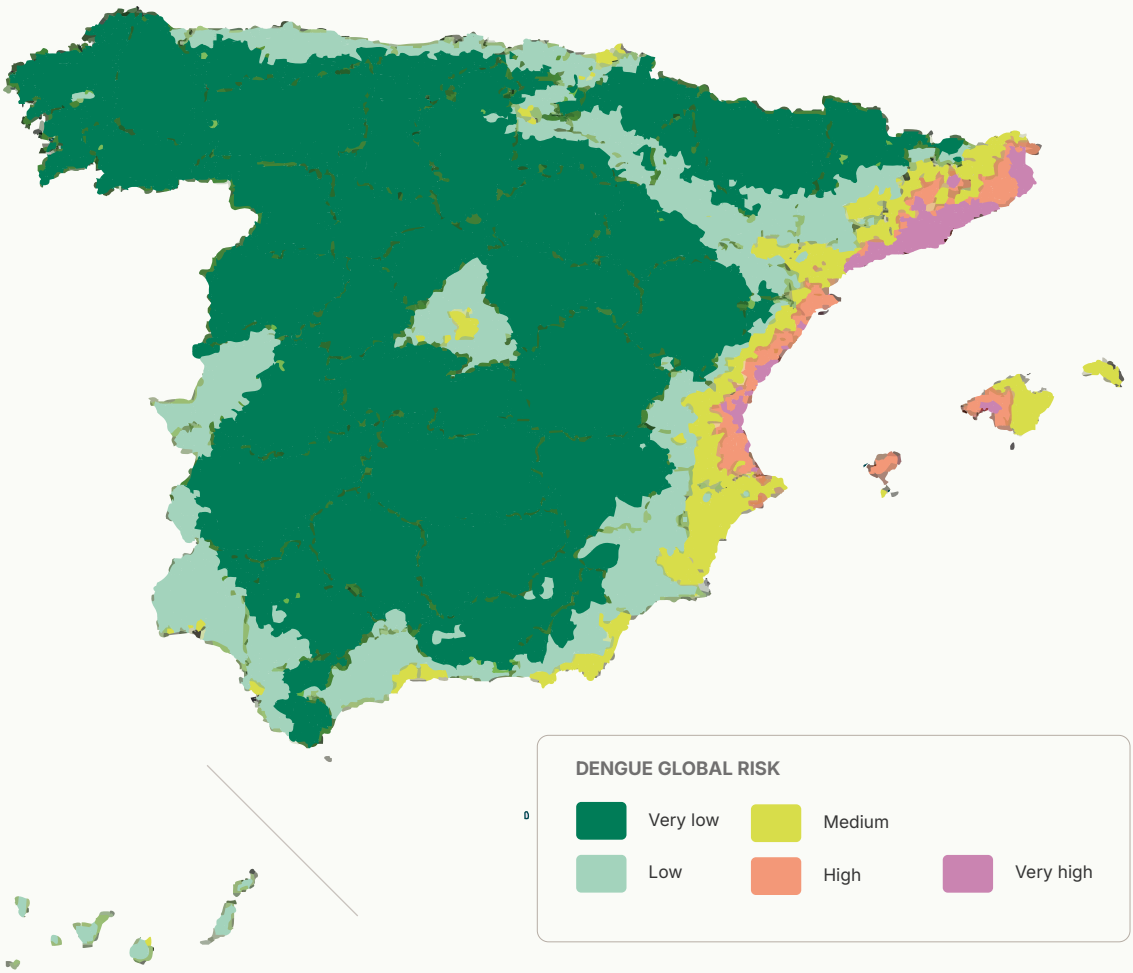


Figura 4. Distribución espacial del riesgo de transmisión autóctona de dengue en municipios españoles. Figura 5 en Fernández-Martínez *et al.* (2024).

los ciclos reproductivos de los vectores (por ejemplo, densidad de los alojamientos o presencia de piscinas, estanques y otras zonas encharcadas). Las infraestructuras turísticas se distribuyen principalmente en zonas costeras y urbanizadas, factores que favorecen a estos vectores.

Como factores de **vulnerabilidad** del riesgo intermedio, hay que resaltar los ambientales, tanto por la sensibilidad y resiliencia de especies y entornos donde se encuentran los vectores (depredadores, fuentes de alimento y zonas de cría), como por el uso turístico del suelo y los distintos recursos naturales que pueden afectar a la capacidad reproductiva o de transmisión (por ejemplo, zonas de retención de agua, praderas inundables etc.). Dentro de la vulnerabilidad de gobernanza, se identifican tanto los sistemas de alerta temprana como la capacidad

de respuesta de las administraciones públicas (tanto sanitarias como del sector) ante el reto de salud pública que el riesgo representa, así como la aceptación social de algunas de las herramientas de control (cuarentenas, vacunaciones, medidas de prevención, restricciones de movimientos, etc.). La vulnerabilidad social está principalmente asociada a la percepción del riesgo por parte de la población y las medidas de autoprotección que adopte, así como al perfil de la población (susceptibilidad, hábitos, horarios de actividad, inmunidad/vacunación preexistente a determinadas enfermedades, etc.) y la densidad de habitantes (que favorezca la transmisión). Finalmente, la vulnerabilidad económica, centrada en el sector turístico, se relaciona con la estacionalidad de los flujos turísticos, que coinciden con los periodos de actividad de los vectores, y con el perfil del turista, tanto como potencial origen de la transmisión (según Norman, 2020, el 56 % de los casos importados de enfermedades son por turistas y el 31 % por migrantes), como por su susceptibilidad al vector y la enfermedad.

Tras identificar los componentes del riesgo intermedio general, nos enfocamos en el riesgo clave sectorial que provoca: **Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos.**

En este caso las variables climáticas son indirectas al ser intermediadas por el riesgo anterior, y el peligro se materializa como un impacto en cascada. Su variabilidad es relevante en la medida que afectan al riesgo intermedio.

Los factores de **exposición** giran en torno a la demanda del turista de condiciones de seguridad y salud (León *et al.,* 2020), en su estudio de destinos insulares, identifica el riesgo de enfermedades infecciosas como el que tiene mayor impacto sobre las preferencias de los turistas. Desde el punto de vista de la exposición de la oferta, gran parte de las infraestructuras turísticas se encuentran en las zonas más expuestas al riesgo de expansión de vectores (costa e islas). Por otro lado, los recursos turísticos naturales dependen en gran parte del medio en el que se encuentran. A priori, las zonas de montaña (por altitud y temperatura) tienen menor exposición, pero playas, bosques y otros espacios naturales es más probable que se localicen en la cercanía de espacios que favorezcan el ciclo reproductivo (como estanques, pantanos y humedales), y de reservorios (animales, como caballos o aves, o humanos).

En cuanto a la **vulnerabilidad**, identificamos cuatro áreas principales, siendo la principal la vulnerabilidad de gobernanza. Así, tanto los mecanismos de alerta temprana como la capacidad de respuesta de las administraciones públicas (en coordinación con el sector privado) son esenciales tanto para reducir el riesgo en sí como para influir en la percepción de inseguridad por parte del turista. Estas respuestas pueden afectar (y ser afectadas por) la confianza en las instituciones, ya que pueden requerir medidas intrusivas en libertades de movimiento (cua-

rentenas, toques de queda, restricciones de acceso), de salud (vacunaciones), de actividad (medidas no sanitarias, restricciones de actividades y horarios) o privacidad (certificaciones de salud o movimiento). Sousa (2024) resalta que epidemias pasadas de malaria estaban condicionadas principalmente por la capacidad del sistema sanitario y el contexto social más que por las variables climáticas.

En segundo lugar, está la vulnerabilidad físico-tecnológica, reflejada principalmente por los equipamientos de las infraestructuras turísticas que permitan controlar los vectores, por ejemplo, mosquiteras, pero también por su diseño y mantenimiento, como sistemas de drenajes y medidas para evitar encharcamientos y otras zonas aptas para el ciclo reproductivo de los mosquitos.

Dentro de la vulnerabilidad económica, el nivel de dependencia del sector turístico y/o sus productos por falta de diversificación es bastante alto según localizaciones y se puede ver acentuado por este riesgo multisectorial. Asimismo, el perfil del turista, su susceptibilidad al riesgo (edad, vacunaciones, inmunidad previa) y sus recursos económicos pueden reflejar la capacidad de optar por actividades turísticas alternativas o de adaptarse al riesgo. Por último, la estacionalidad de los flujos turísticos, y la coincidencia de la temporada alta con los periodos óptimos de transmisión, presentan un reto significativo tanto para la oferta (reajuste de periodos de actividad económica) como para la demanda (reajuste de disponibilidad para hacer turismo) que requiere de la consiguiente flexibilidad necesaria. Como se ha indicado anteriormente, las enfermedades infecciosas son el riesgo que más afecta negativamente la demanda turística (León *et al.,* 2020).

Como vulnerabilidad social, la gestión de la percepción del riesgo y las medidas de acción preventiva y adaptativa son clave. A esto hay que añadir los factores estructurales relacionados con la calidad del empleo turístico (estacional y de base), así como la dependencia de algunas hogares y localidades de la actividad turística, que pueden limitar la capacidad adaptativa tanto al riesgo intermedio como a la posible reducción del turismo sobrevenida. Finalmente, los cambios en el perfil de la población y su susceptibilidad (o preexistencia de la enfermedad), así como la densidad de población, pueden tener impactos significativos tanto en la transmisión como en la resiliencia al riesgo.

Como factores subyacentes del riesgo resaltar la competencia con destinos internacionales similares, sea porque estas enfermedades pasen a ser endémicas en esos destinos o, a la inversa, que se mantengan libres de transmisión autóctona mientras que en España se conviertan en endémicas. Países del entorno, como Francia, Portugal o Italia, ya han tenido brotes localizados

en el pasado (Brugueras, 2020). Finalmente, el contexto y percepciones de seguridad regional[17] o global, o un potencial cambio de preferencias de consumo turístico, independientemente de la materialización del riesgo en España, son también factores subyacentes a los riesgos en el sector que pueden influir en las decisiones de movilidad del turista y conllevar una reducción o aumento de la demanda de los productos o destinos turísticos en España.

Los cuatro **impactos** principales que se identifican son:

- Afección a actividades económicas y complementarias: a través de la reducción del número de visitantes o pernoctas, el margen de rentabilidad económica del sector se puede ver reducido, con el potencial añadido de impacto en cascada en otros sectores económicos. Esto se vería amplificado en zonas con poca diversificación económica en las que el turismo representa un porcentaje importante de la actividad. Este impacto también podría afectar al sector de la salud, por un lado, al sobrecargar la demanda sanitaria en un momento de tensionamiento general, y por otro, el potencial de desviar recursos sanitarios (y crear conflictos por la priorización de estos recursos) hacia áreas y actividades turísticas.

  No hay estudios de impacto específicos para España, pero Awan (2019), en su estudio, a nivel internacional de erradicación de enfermedades, identifica que los países endémicos reciben menos turistas en los siguientes porcentajes (de media) según la enfermedad: 47 % (malaria), 36 % (fiebre amarilla) y 12 % (dengue). Ferreira (2023) estima el impacto de un brote temporal localizado de chikunguña en Florida con un descenso de la ocupación del 2 al 4 %. La falta de estudios nos lleva a un alto nivel de incertidumbre sobre las magnitudes de severidad, con un rango muy amplio de impactos, y, más específicamente, sin la contextualización necesaria al caso español. Tanto Awan como Ferreira nos ofrecen aproximaciones bastas sobre potenciales impactos.

- Impacto social en zonas muy dependientes del turismo. Ligado al impacto anterior, el impacto social puede ser significativo por la pérdida de empleo y de actividades sociales y de servicios relacionados con una mayor densidad de población. La cohesión social local se podría ver afectada. No hay estudios de impacto al respecto.

- Impacto social en nuevas zonas turísticas, debido a la redistribución de turistas, en dos sentidos, primero por el aumento de presión turística en territorios que no tienen la infraestructura y servicios preparados para los nuevos volúmenes; y segundo, por la posible percepción de la comunidad receptora de un aumento del riesgo de transmisión, sea por

[17] Para un caso de reexportación de dengue de Ibiza a Alemania a través de turistas, ver García San Miguel (2022).

la llegada de turistas de zonas endémicas o por el aumento de densidad de población. No hay estudios de impacto al respecto.

- Deterioro de imagen y pérdida de competitividad. Este impacto es aún más difícil de cuantificar, especialmente el deterioro de la imagen. Si el destino se vive y percibe como peligroso para la salud, esto puede conllevar un deterioro de imagen como destino para otras actividades económicas, siendo las enfermedades infecciosas uno de los mayores factores de riesgo para muchos turistas (León *et al.,* 2020). Así mismo, puede haber una pérdida de competitividad, sea por la mejora comparativa de otros destinos similares (sin la enfermedad) como por el coste y restricciones que pueden conllevar las medidas de adaptación. Estos impactos podrían afectar a otros servicios y sectores. No hay estudios de impacto al respecto.

Ficha 2. Análisis del Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos.

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	No hay evidencia de impacto actual.	Sustancial	Crítica	Catastrófica
		No hay estudios agregados, se utiliza el Virus del Nilo como referencia para extensión de riesgo. Alrededor de 4 CCAA afectadas (Farooq *et al.,* 2023; SSP3-RCP7.0; 2010–2022). Reducción de entre 12 % y 47 % de turistas en zonas de enfermedad endémica (Awan, 2019).	No hay estudios agregados, se utiliza el Virus del Nilo como referencia para extensión de riesgo. Alrededor de 6 CCAA afectadas. (Farooq *et al.,* 2023; SSP3-RCP7.0; 2040–2060). Reducción de entre 12 % y 47 % de turistas en zonas de enfermedad endémica (Awan, 2019).	No hay estudios agregados, se utiliza el Virus del Nilo como referencia para extensión de riesgo. Costa mediterránea y sur de España (Farooq *et al.,* 2023; SSP3-RCP7.0; 2070-2080). Reducción de entre 12 % y 47 % de turistas en zonas de enfermedad endémica (Awan, 2019).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Medio ◆◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio	Bajo ◆ · Baja · Medio
	No hay datos, pero existe una percepción creciente del riesgo desde el punto de vista de salud pública. (Ministerio de Sanidad, 2023) Ligero aumento de casos en población general, pero no se han identificado efectos sobre el turismo.	No hay datos, pero existe una percepción creciente del riesgo desde el punto de vista de salud pública. Gran variabilidad según vector y enfermedad.	No hay datos, pero existe una percepción creciente del riesgo desde el punto de vista de salud pública. Gran variabilidad según vector y enfermedad.	No hay datos, pero existe una percepción creciente del riesgo desde el punto de vista de salud pública. Gran variabilidad según vector y enfermedad.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Aumento de la temperatura. • Aumento de la precipitación.	• Demanda de condiciones seguridad/ salud. • Oferta de Infraestructuras de alojamiento y turismo. • Oferta de recursos naturales, donde se desarrolla parte de la actividad turística. La distribución geográfica del riesgo es principalmente en zonas urbanas costeras (Mediterráneo y Atlántico) e islas, donde es más probable la presencia de la enfermedad y el asentamiento de vectores.	• Equipamientos (y su mantenimiento) de gestión de vectores de las infraestructuras. • Diversificación económica y de servicios de los destinos. • Perfil de los turistas. • Estacionalidad de los flujos turísticos. • Dependencia social del turismo y la calidad del empleo. • Percepción del riesgo y medidas de acción. • Cambios de perfil y densidad de población. • Mecanismos de alerta temprana. • Capacidad y confianza en las administraciones públicas.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	España es uno de los principales destinos de turismo internacional, pero cambios en la percepción de seguridad pueden llevar a que turistas internacionales se queden en sus países de origen o escojan otros destinos, o que turistas domésticos opten más por destinos en el extranjero.
Territoriales	La distribución geográfica del riesgo es principalmente en zonas urbanas costeras (principalmente Mediterráneo, pero también Atlántico) e islas, donde es más probable la presencia de la enfermedad y el asentamiento de vectores. Fernandez-Martinez (2024) presenta un mapa de riesgo para dengue en España a nivel municipal.
Sociales	No hay estudios específicos. Los factores sociales están relacionados principalmente con la dependencia de localidades y hogares de la actividad turística, y la temporalidad/precariedad de parte del empleo del sector. La percepción del riesgo y la adopción de medidas de acción puede variar según grupo social. Otro aspecto social por considerar es la sensibilidad de ciertas poblaciones a los vectores o enfermedades (ver capítulo de Salud).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Maladaptación	Las medidas de control de gestión de vectores, como insecticidas o desecación de aguas estancadas, pueden tener efectos sobre otras especies que no son vectores.
Género	Los estudios disponibles en general no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo. Norman (2020) indica que un 62,3 % de los casos de enfermedades importadas eran mujeres. Uno de los factores de riesgo para algunas enfermedades es el embarazo.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	No hay umbrales identificados, pero se puede inferir que la declaración de enfermedad endémica puede ser un umbral crítico para el turismo. La declaración es responsabilidad del Ministerio de Sanidad, con datos del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, teniendo en cuenta transmisibilidad, persistencia, previsibilidad, impacto y resistencia a tratamientos.
Lock-in/Bloqueo	Las infraestructuras actuales no están diseñadas específicamente para la prevención de estos vectores, por lo que puede haber un periodo significativo de adaptación para su puesta al día. Asimismo, puede requerir cambios en hábitos y costumbres tanto de los turistas como de los servicios turísticos.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel nacional: • No se han identificado planes o medidas en curso de gestión del riesgo. • El Plan Nacional de Prevención, Vigilancia y Control de las Enfermedades Transmitidas por Vectores 2023 no menciona el sector turístico. • La Estrategia de Sostenibilidad Turística en Destinos (MINTUR, 2022) no identifica este riesgo o medidas relacionadas. A nivel autonómico/local: • Los planes de adaptación al cambio climático pocas veces identifican el riesgo y muy raramente incluyen medidas de gestión del riesgo especificas al turismo. Ejemplos recientes que identifican el riesgo son los planes de la Generalitat Valenciana (2023), Islas Baleares (2024) o el Ayuntamiento de Córdoba (2024). En general es un riesgo muy poco identificado (de manera muy genérica), y sin medidas específicas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	La Unión Europea solo tiene competencias de apoyo en el sector turístico, por lo que se rige por la estructura competencial de cada estado miembro. En el caso de España, y para este riesgo, las administraciones competentes son: • Administración central (declaración de endemia y coordinación de medidas), Ministerio de Sanidad, Ministerio de Turismo. • Comunidades Autónomas (en su competencia reguladora del sector y afección a la salud pública y sus recursos). Consejerías o Departamentos de Salud y Turismo. • Autoridades locales (en sus competencias de urbanismo y gestión de recursos locales). Municipios y Diputaciones. Concejalías de Turismo, Urbanismo, Servicios Sociales, Obras, Jardinería y Emergencias. El sector turístico es mayoritariamente privado, con participación pública principalmente a nivel regulatorio y promocional. Por ello, la inclusión del sector privado es esencial a la hora de la gestión del riesgo y las medidas de adaptación.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación identificadas suelen ser genéricas y no adaptadas específicamente al turismo. En muchos casos son transversales a la población en general al estar relacionadas con salud pública.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Negativo, ante el potencial incremento de consumo energético, para el control de temperaturas, y de materiales, por el traslado de activades a espacios interiores. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Negativo, ante el potencial incremento de costes de energía y transporte que afectarían a la competitividad del sector según el modelo económico actual.
Déficits de información	• Este riesgo representa un alto nivel de incertidumbre debido a la falta generalizada de estudios contextualizados. • No hay estudios de impacto específicos al sector en España. • No hay estimaciones de los costes de potenciales medidas de adaptación especificas al sector.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.3. RC12.3 Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos

Este riesgo aborda los efectos derivados del cambio climático desde el punto de vista de la oferta de recursos turísticos naturales. Estos incluyen, entre otros, a playas, montañas, bosques o ríos, desde el punto de vista físico como espacio de actividad turística, y no desde el punto de vista de biodiversidad y ecosistemas. En este caso nos enfocaremos en la pérdida de superficie de playas, al ser el uso de playas el principal motivo (33,9 %) y actividad (62 %) del turista internacional (TURESPAÑA, 2023), y con estimaciones de impacto turístico más significativas. A pesar de la diversificación de la oferta turística española, los destinos de sol y playa representan el 65 % del total de oferta y demanda (MINTUR, 2022). Las playas en España son de dominio público, enmarcadas dentro del Dominio Público Marítimo Terrestre (DPMT), por lo que las administraciones publicas tienen un rol clave en su gestión, aunque gran parte de la actividad turística en las playas sea desarrollada por el sector privado. Del resto de recursos turísticos naturales no hay suficientes estudios o son de impacto turístico menor.

Hay que añadir que el impacto de incendios forestales sobre el turismo también puede llegar a ser significativo, dados los impactos ya ocurridos en Portugal, con una reducción de turismo doméstico de entre 2 y 4 %, y de 0,5 a 1% de turismo internacional (Otrachshenko, 2022), así como la estimación de Lam-González (2022) de una potencial reducción del gasto medio por turista del 23 % por incendios en Baleares. Esta área requiere más estudio.

Los principales factores que agravan este riesgo se centran en su gran extensión potencial, la posible afectación a actividades turísticas ligadas específicamente al recurso natural y la irreversibilidad o alto coste de adaptación/recuperación. Así mismo, uno de los factores principales de peligro (el aumento del nivel del mar) ya se está registrando, un 28 % de las playas españolas ya están sufriendo erosión crónica y un total de 281.8 km de playas han sufrido erosiones no recuperables (asociadas a eventos erosivos) en los últimos 10 años (IHCantabria, 2021)[18].

La **Figura 4** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. En este caso, tenemos un riesgo intermedio que conecta con otro ámbito sectorial (Costas), tras el cual se sitúa el riesgo clave en el centro del marco, a partir del cual se representan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, propios del sector o interrelacionados con otros sectores.

[18] Aunque los análisis no hacen el correspondiente análisis de impacto de esta dinámica sobre el sector turístico.

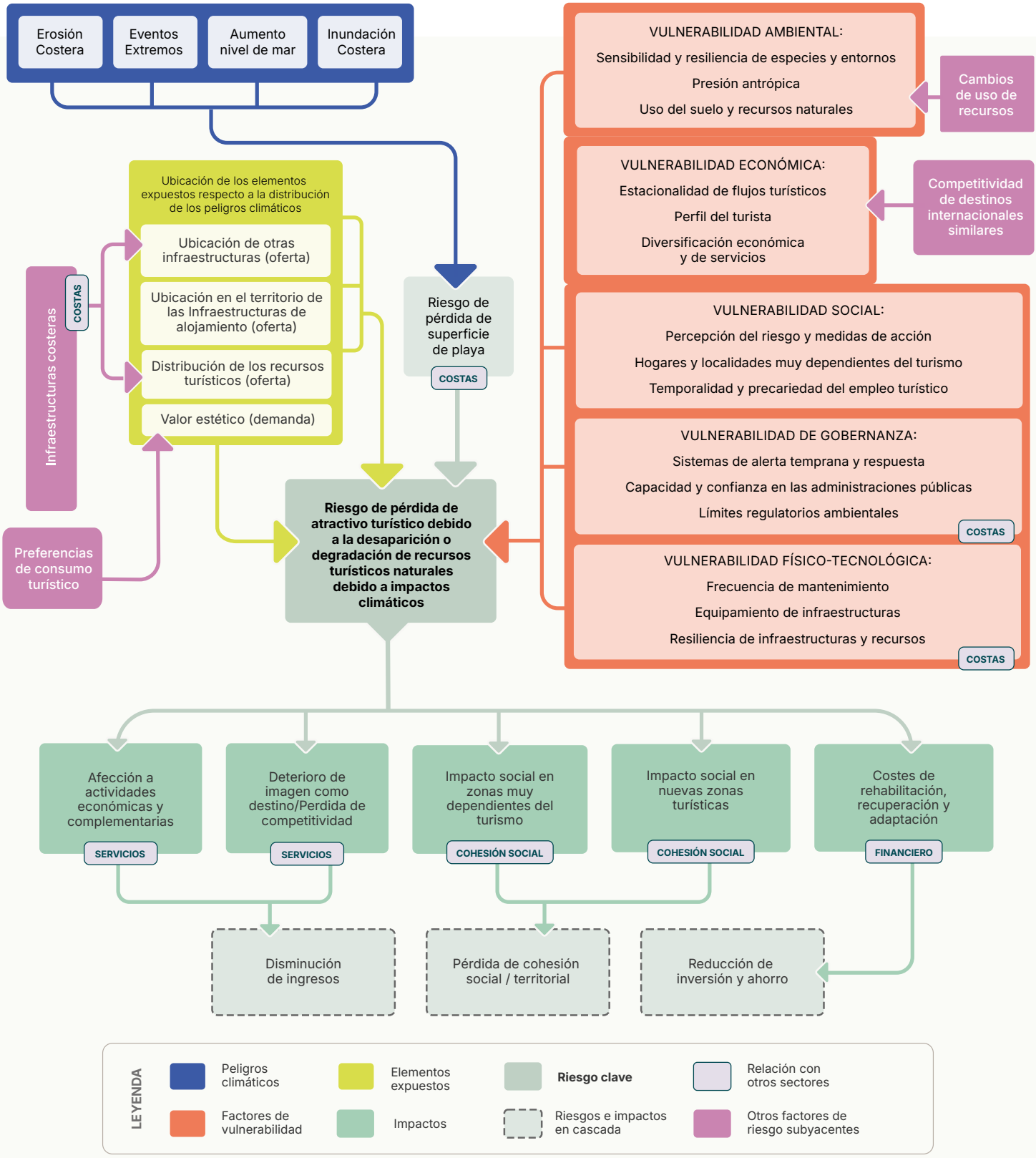


Figura 5. Cadena de impacto Riesgo clave 12.3. Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos.

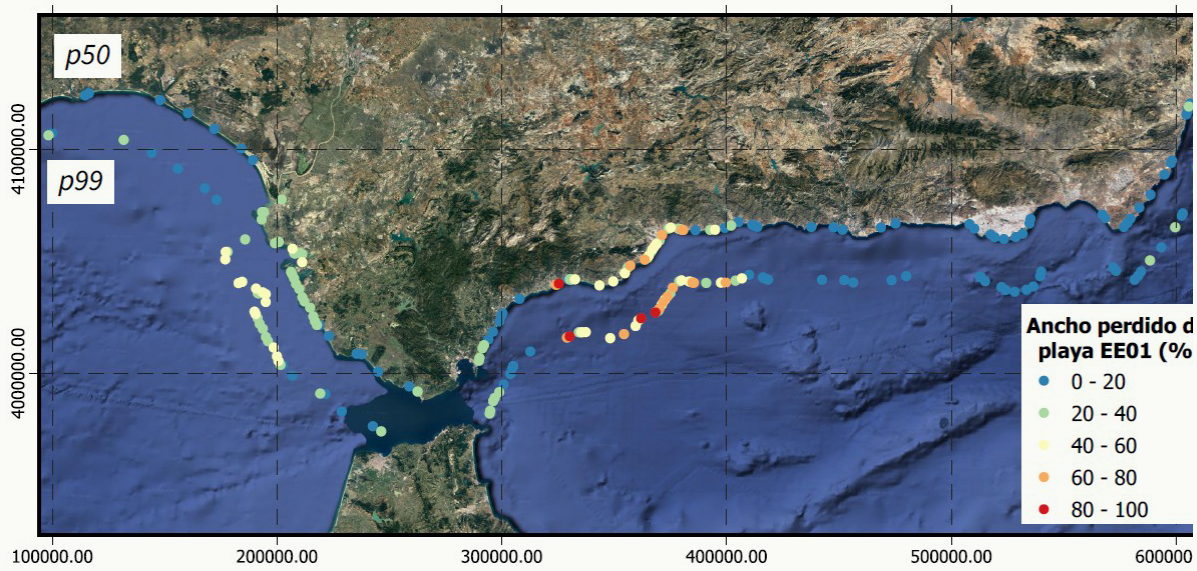


Figura 6. Porcentaje de ancho de playa perdido debido a un escenario RCP 4.5 en el año horizonte 2050 percentiles 50 % y 99 % del aumento del nivel medio del mar en la costa andaluza, figura 100 en Junta Andalucía PIMA ADAPTA COSTAS, 2022.

En este caso hay que indicar que el riesgo intermedio (Riesgo de pérdida de superficie de playa) ya está cubierto en el Capítulo de Costas por el *Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo (RC6.1),* y los *Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleajes extremos (RC6.2).* Por ello nos enfocamos directamente en el riesgo clave sectorial del que se deriva: *Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos.* Así, en este caso, los peligros climáticos afectan a un riesgo intermedio, *de pérdida de superficie de playa* y por tanto no se vinculan directamente con el riesgo clave analizado.

Los factores de exposición giran en torno a la oferta del recurso natural de playas. Estas están distribuidas a lo largo de las costas españolas (unos 8.000 kilometros aproximadamente), tanto Atlántica como Mediterránea, constituyendo un recurso turístico en todas las localizaciones. Otros componentes de la oferta, como las infraestructuras turísticas y de alojamiento, suelen estar localizados en la proximidad de las playas, al ser estas una de las principales razones para su ubicación. Respecto a los factores de la exposición relacionados con la demanda, la percepción de belleza de las playas puede verse alterada de manera significativa por la pérdida de superficie de estas o por los cambios en su composición (arena, grava, piedra), y llevar a los turistas a escoger otros destinos (Raybould, 2013).

En cuanto a la **vulnerabilidad**, identificamos cinco áreas principales:

- La vulnerabilidad de **gobernanza**. Tanto los mecanismos de alerta temprana (especialmente ante tormentas y otros eventos extremos) como la capacidad de respuesta de las administraciones públicas son esenciales tanto para reducir el riesgo (medidas de protección costera) como para poner en marcha medidas de recuperación de la superficie perdida. El DPMT requiere la colaboración de múltiples instituciones (Central, Autonómica y Local) para la gestión de la costa, del urbanismo y del turismo. Puede haber limitaciones ambientales en las medidas a ejecutar tanto en zonas protegidas del medio marino como en espacios de humedales y dunas. Estas respuestas pueden afectar (y ser afectadas por) la confianza pública en las instituciones implicadas, ya que pueden requerir medidas restrictivas de acceso o de actividad, no necesariamente alineadas con los intereses particulares.

- En segundo lugar, está la vulnerabilidad **físico-tecnológica**, referida principalmente a los equipamientos de las infraestructuras de protección costera (p. ej. diques), su mantenimiento y resiliencia, así como otras infraestructuras turísticas que se encuentran situadas en las playas y alrededores (desde paseos marítimos y chiringuitos a duchas o caminos de acceso).

- Dentro de la vulnerabilidad **económica**, destaca el alto nivel de dependencia del sector turístico y/o sus productos a los recursos naturales por falta de diversificación, ya que en muchos casos está íntimamente ligado a la disponibilidad y acceso a las playas. Asimismo, el perfil del turista, la susceptibilidad al riesgo de sus actividades preferidas (tipo de actividad, espacio necesario) y sus recursos económicos pueden determinar su capacidad de optar por destinos o actividades turísticas alternativas. Por último, la estacionalidad de los flujos turísticos, que en estos momentos coinciden, en general, con los periodos naturales de pérdida (en temporada baja de invierno) y acreción (en temporada alta de verano) de superficie de playa, se puede ver alterada por la ocurrencia de eventos extremos en temporada alta, o por cambios de los periodos turísticos (desestacionalización).

- En cuanto a la vulnerabilidad **social**, factores como la percepción del riesgo y la existencia de medidas de acción preventiva y adaptativa son clave en la reducción de vulnerabilidad. A estos hay que añadir los factores estructurales relacionados con la baja calidad del empleo turístico (estacional y de base), así como la alta dependencia de algunos hogares y localidades de la actividad turística, que puede aumentar los impactos económicos y limitar la capacidad adaptativa.

- Finalmente, la vulnerabilidad **ambienta**l. Como recursos naturales que son, las zonas de playa están conformadas por ecosistemas que pueden ser más o menos sensibles o resilientes

a los cambios, o incluso ofrecer oportunidades de protección específicas (p. ej. servicios ecosistémicos de dunas y praderas marinas). La presión antrópica, tanto directa (uso del recurso, así como sus medidas de gestión, incluyendo estructuras de protección costera) como indirecta (p. ej. contaminación, alteración de sedimentos, gestión del área, etc.), puede afectar la sensibilidad de los ecosistemas relacionados con las playas.

Como **factores subyacentes** del riesgo, hay que resaltar la competitividad de destinos internacionales similares que sean capaces de mantener o ampliar la superficie (o calidad) de sus playas. Un segundo factor subyacente es el potencial cambio de las preferencias de consumo turístico, que puede conllevar una reducción o aumento de la demanda del recurso turístico, tanto en relación con el destino (p. ej. preferencia por actividades de montaña) como con el tipo de uso e intensidad (p. ej. preferencia de actividades deportivas en la playa a la toma de sol). Un tercer factor se refiere a los cambios de uso en general, dado que el espacio costero y playas comparten uso con otras actividades no turísticas y sectores (p. ej. pesca, transporte marítimo, seguridad, etc.), que pueden alterar potencialmente el disfrute turístico. Finalmente, también las infraestructuras costeras independientes del turismo (p. ej. puertos, sistemas de protección costera de zonas industriales o residenciales) pueden condicionar tanto el acceso como las dinámicas propias de las playas.

Los cinco **impactos principales** que se identifican en relación con este riesgo son:

- Afección a actividades económicas y complementarias: a través de la reducción del número de visitantes, el margen de rentabilidad económica del sector se puede ver reducido, con el potencial añadido de impacto en cascada en otros sectores económicos. Este impacto se vería amplificado en zonas con poca diversificación económica y oferta directamente ligada al recurso natural, en las que el turismo representa un porcentaje importante de la actividad. No hay estimaciones del posible impacto a nivel nacional, aunque algunos de los PIMA ADAPTA COSTA a nivel autonómico sí que las ofrecen. Extrapolando a partir de los datos disponibles podemos estimar[19] un rango de pérdidas de entre 3.007 y 16.091 millones de euros anuales en España, según el escenario climático considerado.

- Impacto social en zonas muy dependientes del turismo. Ligado al impacto anterior, el impacto social puede ser significativo por la pérdida de empleo y actividades sociales y de servicios

[19] Los PIMA ADAPTA COSTA de Canarias, Murcia, Cantabria, Andalucía y Baleares (representando un 55 % de la costa española) siguen una metodología similar para calcular este impacto. Las estimaciones se obtienen sumando las estimaciones de estas 5 CCAA para cada nivel de calentamiento y dividiendo por 0,55. Esta aproximación es muy somera y pretende dar una idea general, dada las diferencias geomorfológicas entre playas mediterráneas y atlánticas, así como los distintos perfiles de uso y valor del m2 de playa.

relacionadas con una mayor densidad de población. La cohesión social local se podría ver afectada. Sin embargo, no hay estudios al respecto.

- Impacto social en nuevas zonas turísticas, debido al desplazamiento o redistribución de turistas hacia playas anteriormente más marginales o con menos servicios, pero que hayan mantenido (o incluso aumentado) comparativamente su superficie. Estos destinos emergentes no estarían inicialmente adaptados al aumento de presión turística al no tener la infraestructura y servicios dimensionados para los nuevos volúmenes, y la cohesión social local verse afectada.

- Deterioro de imagen y pérdida de competitividad. El turismo de playa está fuertemente asociado al turismo en España, a pesar de apreciarse una creciente diversificación (turismo urbano, turismo cultural), por tanto, un deterioro de esta modalidad turística concreta puede afectar a la percepción general de España como destino turístico. Su impacto es aún más difícil de cuantificar si consideramos que puede conllevar un daño a la imagen como destino para otras actividades económicas, más allá de las turísticas, afectando potencialmente a otros servicios y sectores. También puede haber pérdida de competitividad frente a otros destinos similares donde no se produzca una pérdida tan acusada de superficie de playa. No hay estudios que analicen este posible impacto.

- Costes de rehabilitación, recuperación y adaptación. El coste y restricciones que pueden conllevar las medidas de recuperación de las playas degradadas y su adaptación pueden ser significativos, especialmente teniendo en cuenta que los peligros se seguirán incrementando. Por ejemplo, el Plan Litoral 2018[20] de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (MAPAMA, 2018) adjudicó 40 millones de euros para la reparación de daños producidos por temporales en la costa española. Estas obras pueden suponer un esfuerzo significativo para las arcas públicas en los distintos niveles competenciales, así como para las privadas, sea por impuestos específicos o por colaboraciones directas, y un riesgo adicional para la banca que financie las medidas y sectores afectados. Asimismo, puede haber un coste adicional relacionado con campañas publicitarias y de información para la recuperación de la imagen de España como destino turístico de playa.

[20] Plan Litoral, 2018: https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/plan-litoral-obras-reparacion-temporales.html

Ficha 3. Análisis del Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales terrestres.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	No hay evidencias de impacto.	Crítica	Crítica	Catastrófica
	Las evidencias actuales no presentan indicación de impacto actual en el sector turístico a nivel nacional de este riesgo. Hay impactos económicos en riesgos asociados, como aquellos relacionados con protección costera (por ejemplo, el Plan Litoral).	No hay estudio agregado a nivel nacional. Extrapolando a partir de los datos de los PIMA ADAPTA Costa calculamos una pérdida de 3.007 millones € en España (aproximación propia).	No hay estudio agregado a nivel nacional. Extrapolando a partir de los datos de los PIMA ADAPTA Costa calculamos una pérdida de 4.724 millones € en España (aproximación propia).	No hay estudio agregado a nivel nacional. Extrapolando a partir de los datos de los PIMA ADAPTA Costa calculamos una pérdida de 16.091 millones € en España (aproximación propia).
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Medio ◆◆ · Media · Alto	Medio ◆◆ · Baja · Alto	Medio ◆◆ · Baja · Alto	Medio ◆◆ · Baja · Alto
	No hay estudios nacionales del impacto actual de este riesgo y el volumen turístico sigue creciendo. Los datos actuales no evidencian que el impacto ya se esté produciendo.	Incertidumbre sobre el comportamiento del turista. Reducción de calidad por la falta de datos vinculados directamente a niveles específicos de calentamiento global, ya que se utilizan escenarios RCP.	Incertidumbre sobre el comportamiento del turista. Reducción de calidad por la falta de datos vinculados directamente a niveles específicos de calentamiento global, ya que se utilizan escenarios RCP.	Incertidumbre sobre el comportamiento del turista, especialmente a medio-largo plazo. Reducción de calidad por la falta de datos vinculados directamente a niveles específicos de calentamiento global, ya que se utilizan escenarios RCP.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Exposición	Vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Erosión costera. • Eventos extremos. • Aumento del nivel del mar. • Inundación costera.	• Oferta de recursos naturales, donde se desarrolla parte de la actividad turística. • Demanda de belleza en destino turístico. • Oferta de infraestructuras de alojamiento y otras. La distribución geográfica del riesgo es a lo largo de toda la costa española.	• Sensibilidad y resiliencia de especies y entornos. • Uso del suelo y recursos naturales. • Presión antrópica. • Infraestructura turística y de protección costera, su equipamiento, mantenimiento y resiliencia. • Diversificación económica y de servicios de los destinos • Perfil de los turistas. • Estacionalidad de los flujos turísticos. • Dependencia social del turismo y calidad del empleo. • Percepción del riesgo y medidas de acción. • Mecanismos de alerta temprana. • Capacidad y confianza en las administraciones públicas. • Límites regulatorios ambientales.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	España es uno de los principales destinos de turismo internacional. Cambios en las condiciones físicas de las playas que conlleven la pérdida de su atractivo puede llevar a que turistas internacionales escojan otros destinos, o que turistas domésticos opten más por destinos en el extranjero.
Territoriales	La distribución geográfica del riesgo afecta a toda la costa española, aunque más directamente a la costa mediterránea e islas, dado el modelo turístico y la intensidad de uso.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Sociales	No hay estudios específicos. Los factores sociales están relacionados principalmente con la dependencia de localidades y hogares de las actividades turísticas, y la temporalidad/precariedad de parte del empleo del sector. La percepción del riesgo y la distribución de medidas de acción puede variar según el grupo social, y que puede verse afectada por la capacidad de las administraciones, especialmente dada la necesidad de coordinación a distintos niveles.
Maladaptación	Algunas infraestructuras de protección costera pueden afectar a ecosistemas sensibles o que cumplen servicios ecosistémicos relacionados con el riesgo. Algunas infraestructuras de protección costera pueden reducir la percepción del peligro y crear una falsa sensación de seguridad.
Género	Los estudios disponibles, en general, no integran el enfoque de género con respecto a este riesgo en particular. Los estudios generales del sector indican dos desigualdades principales (Martínez Gayo, 2020): • Mayor precariedad laboral/contratos a tiempo parcial en mujeres. • Remuneración inferior en mujeres.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	No hay umbrales generales identificados para el sector turístico. En relación con las condiciones recreativas, se considera el umbral mínimo de 20 metros de anchura para playas mediterráneas (Jiménez, 2017). Otros potenciales umbrales se relacionan con medidas regulatorias para la gestión del recurso (p. ej. tipos o cantidades de relleno de playas), así como con la percepción del turista.
Lock-in/Bloqueo	Las infraestructuras costeras requieren una inversión significativa que puede dificultar la reconsideración de decisiones pasadas. Además, estas inversiones tienden a reforzar inercias institucionales, manteniendo modelos de desarrollo que podrían no ser sostenibles frente a los riesgos climáticos.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel nacional: • El Plan Estratégico Nacional para la Protección de la Costa Española considerando los Efectos del Cambio Climático (2022) identifica el riesgo sobre el recurso natural, pero no desarrolla líneas de acción específicas al turismo. • La Estrategia de Sostenibilidad Turística en Destinos (MINTUR, 2022) identifica parcialmente este riesgo.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel autonómico/local: • Los planes de adaptación al cambio climático identifican a menudo el riesgo, y suelen incluir medidas de gestión del riesgo especificas al turismo. Ejemplos recientes son los del Gobierno de Canarias (2023) o la Generalitat Valenciana (2024) En general, es un riesgo conocido, y sobre el que se plantean medidas enfocadas principalmente al recurso natural y algo menos al sector en sí.
Gobernanza de gestión del riesgo	En el caso de España, y para este riesgo, las administraciones públicas competentes son: • Administración central (especialmente para el riesgo intermedio de pérdida de playa): Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico – Dirección General de la Costas (Dominio Público Marítimo Terrestre). • Comunidades Autónomas (en su competencia reguladora del sector y ordenación del territorio): Consejerías o Departamentos de Turismo, Medio Ambiente, Infraestructuras, Territorio. • Autoridades locales (en sus competencias de urbanismo y gestión de recursos locales): Municipios y Diputaciones. Concejalías de Turismo, Urbanismo y Obras. El sector turístico es mayoritariamente privado, pero las playas son de propiedad y gestión pública, por lo que la coordinación y colaboración entre los distintos agentes es esencial.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	La literatura no identifica beneficios más allá del mantenimiento de la actividad turística.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Negativo, ante el potencial incremento de uso de playas anteriormente marginales con el consiguiente aumento de la construcción y el transporte. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Negativo, ante el potencial incremento de los costes de la energía, el transporte y las medidas de protección costera, que afectarían a la competitividad del sector según el modelo económico actual.
Déficits de información	No hay estudios disponibles de ámbito nacional en España sobre impactos en el turismo por la pérdida de recursos naturales debido al cambio climático. Los estudios de PIMA ADAPTA COSTAS autonómicos. serían un buen punto de partida, aunque no son homogéneos metodológicamente para el análisis de este riesgo.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial de *Turismo* se centra en uno de los riesgos clave (RC12.3) al ser el único con interdependencias significativas con otros riesgos clave (los grafos de los otros dos riesgos se pueden consultar en el Capítulo de Riesgos Complejos).

El *Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido impactos climáticos* (RC12.3) tiene grado de entrada 14 y grado de salida 3 (**Figura 7**):

- En lo que se refiere a su grado de entrada, este riesgo se ve influido por riesgos de multiples ámbitos sectoriales como *Agua y Recursos Hidricos* (RC2), *Patrimonio Natural* (RC3), *Forestal* (RC4), *Costas y Medio Marino* (RC6) y *Patrimonio Cultural* (RC8).

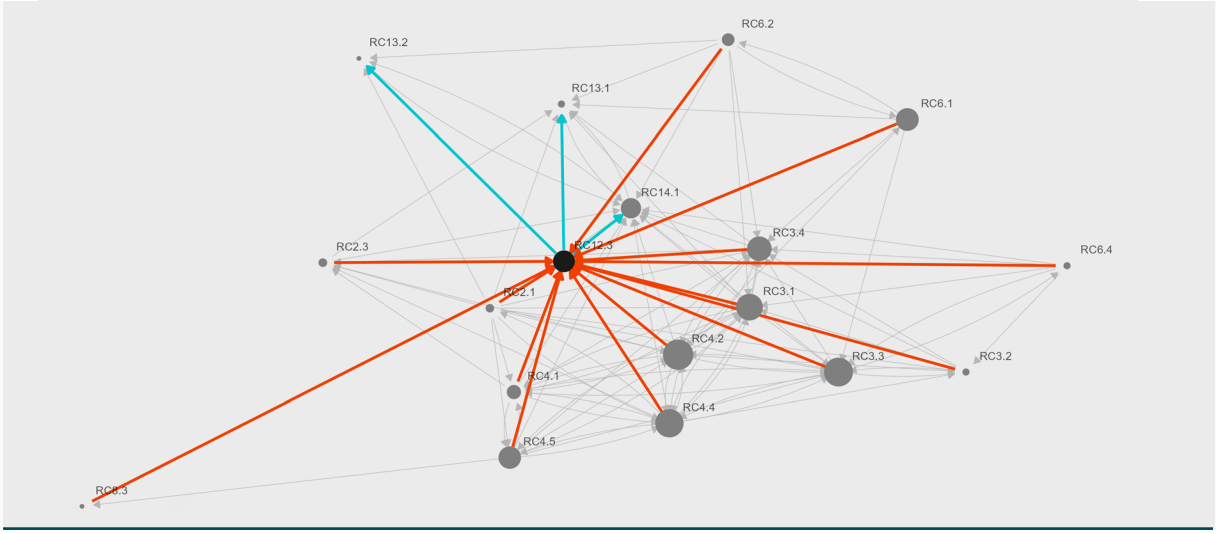


Figura 7. Grafo del Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos. Fuente: capítulo de riesgos complejos.

- En cuanto a su grado de salida, este riesgo actúa como nodo generador de impactos en cascada sobre riesgos pertenecientes a sectores como *Sistema financiero y actividad aseguradora* (RC13) y *Paz, Seguridad, y Cohesion Social* (RC14).

Las métricas asociadas a todos los riesgos clave de este sector se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial del Turismo.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
12.1 Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasar los umbrales de confort	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Media –
12.2 Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos[21]	Bajo ▼	Bajo ▼	Baja ▼	Baja ▼
12.3 Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos	Alto ▲	Bajo ▼	Baja ▼	Media –

[21] La denominación de este riesgo ha variado desde que se llevó a cabo el análisis de los riesgos complejos, correspondiéndose en este caso con el RC2 Riesgo de un aumento de la percepción de falta de seguridad de los turistas debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos.

6. Caso de estudio

El caso de estudio LIFE CALA MILLOR/PIMA ADAPTA COSTAS ILLES BALEARS ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de Turismo. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Life Cala Millor / Pima Adapta Costas-Illes Balears

Objeto

- El objeto del PIMA ADAPTA COSTAS-Islas Baleares es evaluar la vulnerabilidad de las costas baleares frente al cambio climático y proponer medidas de adaptación para proteger personas, bienes y ecosistemas.
- El objeto de LIFE ADAPT CALA MILLOR es implementar medidas de adaptación al cambio climático en la bahía de Cala Millor para reducir la vulnerabilidad costera, proteger los ecosistemas y mantener los servicios turísticos y ambientales.

Descripción:

- Los PIMA ADAPTA COSTAS son una línea de actuación del Gobierno de España, dentro del marco del Plan de Impulso al Medio Ambiente (PIMA ADAPTA). Se puede acceder a más información en el Caso de Estudio del Capítulo de Costas y Medio Marino. En Baleares, el informe se publicó en 2021 y contiene análisis tanto del impacto sobre el sector turístico por pérdida de playa, como la afectación de establecimientos turísticos por inundación costera.

Ámbito Territorial:

- Islas Baleares.

Sector(es)/subsector:

- Turismo, Costas y Medio Marino.

Entidad(es) del proyecto:

- Govern de les Illes Balears, Ministerio para la Transición Ecológica (MITERD), IHCantabria, SOCIB, IMEDEA, LANDLAB, CONAMA, UiB, Consorci de Turisme.

Escala:

- Autonómica/Local.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

- El LIFE ADAPT CALA MILLOR es un proyecto piloto en curso (2023-2027), cofinanciado por el programa europeo LIFE, que busca transformar Cala Millor en un modelo de gestión costera adaptativa, promoviendo soluciones basadas en la naturaleza (SbN), planificación territorial sostenible, y la participación ciudadana. Este proyecto utiliza el análisis generado por el PIMA ADAPTA COSTAS.

Aspectos destacables:

- Metodología para el cálculo de los servicios ecosistémicos de playas en su función recreativa por superficie de playa seca.
- Metodología para el cálculo de impactos por inundación costera sobre establecimientos turísticos.
- Complementariedad y uso de análisis entre proyectos (PIMA ADAPTA IB → LIFE CALA MILLOR)
- Evaluación de escenarios climáticos específicos para Baleares.
- Elaboración de mapas de riesgo y vulnerabilidad.
- Base científica para decisiones de reubicación, protección de infraestructuras o preservación de ecosistemas.
- Enfoque participativo, con agentes locales, administración y sector turístico.

Riesgo(s):

- Tanto el PIMA ADAPTA COSTAS como el LIFE han adoptado un enfoque multisectorial y multirriesgo.

  El riesgo más relevante con el que se asocian estas iniciativas es el Riesgo Clave 12.3 *Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales terrestres.*

Enlaces:

- **PIMA ADAPTA COSTAS IB** https://www.caib.es/sites/costespelcanvi/es/pima_adapta_costes_ib/
- **Análisis de riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears** https://caib.es/sites/costespelcanvi/es/informe_de_/
- **Visor de los impactos en la costa por el cambio climático** https://ideib.caib.es/impactes_costa_canvi_climatic/es/
- **LIFE CALA MILLOR** https://caib.es/sites/adaptcalamillor/es/

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

Parte de la información sobre el sector y los riesgos derivados del cambio climático no es fácilmente accesible, sea porque está en manos privadas (cadenas hoteleras, servicios de consultoría) o porque se encuentra en medios que no tienen acceso abierto. Puesto que el objetivo de este estudio es que la información sea trazable y transparente, algunos de estos análisis no se han incluido y/o referenciado, pero no se estima que hayan alterado los resultados de manera significativa (aunque sí pueden alterar el nivel de calidad de datos y consenso científico, y por tanto el grado de confianza de las afirmaciones).

Caracterización del sector

Para este análisis se ha identificado "daño", en general, con "reducción de demanda turística", algo muy común tanto en la literatura académica como en planes y estrategias sectoriales. Aun así, es importante indicar una creciente contestación al modelo turístico existente y objetivos de crecimiento. Una visión distinta del sector conllevaría replantear tanto los riesgos identificados como su formulación.

Así mismo, dada la diversidad territorial, climática, la distribución y tipos de oferta turística en España, los impactos proyectados del cambio climático son heterogéneos a lo largo del territorio. Impactos agregados a nivel nacional o promedios pueden ocultar profundas desigualdades tanto en el daño estimado como en las capacidades de adaptación y respuesta de cada territorio subnacional (autonómico, provincial, municipal y local).

Desequilibrio de análisis territorial y temático

Hay un desequilibrio territorial en el nivel de análisis, así, gran parte de los estudios existentes se centran en comunidades autónomas o localidades que tienen un fuerte componente turístico (Cataluña, Valencia, Andalucía, Baleares y Canarias), lo que provoca un sesgo en cuanto a datos

disponibles y a la identificación de riesgos e impactos. Este sesgo se ve agregado temáticamente por el énfasis de los estudios en los efectos sobre el turismo costero, principalmente de sol y playa, siendo la excepción más notable el turismo de nieve, también bastante estudiado. Estos sesgos pueden ser de especial relevancia cuando se consideran las medidas de adaptación aplicables al sector, ya que no hay una visión completa de las opciones disponibles que puedan facilitar la reducción de los riesgos espacial y temáticamente.

Falta de continuidad en el seguimiento de algunos riesgos

Mientras algunos riesgos tienen un seguimiento regular en la literatura científica, otros siguen dependiendo de análisis hechos hace años y/o con escenarios RCP sin actualizar. Como ejemplo, destaca el caso de los riesgos relacionados con estrés hídrico, turismo de nieve, o degradación del medio. Sería recomendable identificar riesgos específicos que necesitan seguimiento y promover la publicación regular de evaluaciones y análisis según modelos comunes para favorecer su comparabilidad y establecer su evolución. Mientras que, en algunos casos, esto se solventa estableciendo indicadores estándar, un análisis detallado puede identificar y establecer déficits de información y cambios en las componentes del riesgo.

Estudios de riesgos individuales y escenarios limitados

En general, no existen evaluaciones integradas de riesgos e impactos del sector, sino estudios de riesgos individuales enfocados en aspectos particulares. Por ello no hay una visión de conjunto de los riesgos e impactos del sector, especialmente de aquellos con alto potencial de que sean compuestos.

Por otro lado, hay que indicar que la mayoría de los estudios han sido elaborados para los escenarios denominados Sendas Representativas de Concentración (SSP) o Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) de 8.5, seguidos por 4.5 y 2.6. El énfasis en RCP8.5 puede restringir las perspectivas de medidas de adaptación de transición o a corto-Medio plazo, donde un RCP4.5 o un RCP2.6 pueden ser de más utilidad. En muy pocos casos se utilizan niveles de calentamiento, escenarios SSP (Trayectorias Socioeconómicas Compartidas, en español, y SSP por sus siglas en inglés), RCP/SSP o la aplicación de los SSP a los componentes de exposición o vulnerabilidad.

Así mismo, gran parte de los estudios de cambio climático hacen énfasis en cambios de riesgos en el futuro con el presente como línea base, pero no indican el nivel de riesgo o impacto actual. Por ello las fichas de riesgos clave no reflejan severidad de impacto en la actualidad.

Falta de análisis de vulnerabilidad social

Los estudios tienen cierto nivel de desagregación espacial pero no están desagregados socioeconómicamente, por lo que es difícil identificar la distribución social de los impactos y las vulnerabilidades sociales ante los riesgos. A priori se pueden extrapolar vulnerabilidades sociales genéricas del sector turístico, con la limitación de que los aspectos derivados específicamente del cambio climático no se consideran.

Escenarios de adaptación del sector

Se necesitan escenarios de adaptación del sector que reflejen mejor el aspecto dinámico no solo de las variables climáticas sino también del mercado turístico. García-León *et al.* (2025) ofrece un buen ejemplo a seguir en el desarrollo de futuros estudios al estimar 3 escenarios: 1) techo de demanda, donde la demanda se mantiene a volúmenes actuales con redistribución geográfica y temporal, 2) inercia estacional, donde los patrones estacionales se mantienen, y 3) desestacionalización, en el que el escenario tiene en cuenta las estrategias de desestacionalización necesarias para minimizar el impacto.

Impactos y evidencias

La importancia económica del sector turístico genera un interés mediático que a veces lleva a la identificación de riesgos sin base en la evidencia existente. Un caso ejemplar es el del riesgo del estrés hídrico sobre el turismo pues hay cierto consenso en señalarlo como riesgo relevante e incluso como riesgo clave. Sin embargo, hay escasos estudios de impacto que permitan establecer una relación causal, aunque existe literatura científica que menciona casos específicos como Benidorm, en 1978, y Mallorca, en 2000, basándose principalmente en publicaciones periodísticas. Para el caso de Benidorm en 1978, Martínez-Ibarra (2015) ya identificó que el descenso de turistas alemanes estaba ocurriendo antes de la crisis hídrica, a pesar de las publicaciones en los medios de la época. Así mismo, la mayoría de los estudios consultados no se centran en el análisis de la relación entre la actividad turística y el estrés hídrico sino en factores de exposición como la presencia de infraestructuras en zonas con potencial estrés hídrico, o de vulnerabilidad como cambios en niveles de consumo. Por ello, sería recomendable un estudio en profundidad sobre este riesgo, para poder evaluarlo adecuadamente con evidencias científicas.

8. Referencias

- Agulles, M., Melo-Aguilar, C., & Jordà, G. (2022). Risk of loss of tourism attractiveness in the Western Mediterranean under climate change. Frontiers in Climate, 4, 1019892.
- Anastasia Arabadzhyan, Paolo Figini, Carmen García, Matías M. González, Yen E. Lam-González & Carmelo J. León (2021). Climate change, coastal tourism, and impact chains – a literature review, Current Issues in Tourism, 24:16, 2233-2268, DOI: 10.1080/13683500.2020.1825351
- ATUDEM (2023). Balance Anual https://www.atudem.es/revcms_get_binary.aspx?cont_id=65ebec34-b569-4d82-873d-114565061a49
- Awan, A. W. (2019). New Contributions on the Determinants of International Tourism Demand: Weather, Travel Diseases and Income. Tesis doctoral Universitat de les Illes Balears.
- Barrutiabengoa, Carta, Gonzalez, Perez, Mas & Yucel (2024). Climate change scenarios and the evolution of Spanish Tourism. BBVA Research Working Paper 24/11.
- BDN Banco de datos de la Naturaleza (diciembre 2023). Espacios Naturales Protegidos https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/enp_descargas.html
- Betts, R.A., Brown, K., 2021. The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.
- Blauhut, Stahl, Stagge, Tallaksen, De Stefano & Vogt (2016). Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors.
- Bombana, B.; Santos-Lacueva, R.; Saladié, Ò. Will Climate Change Affect the Attractiveness of Beaches? Beach Users' Perceptions in Catalonia (NW Mediterranean). Sustainability 2023, 15, 7805. https://doi.org/10.3390/su15107805
- Cabrer-Borrás, B., & Rico, P. (2020). Impacto económico del sector del turismo en España. línea]. Available: https://roderic. uv. es/bitstream/handle/10550/80528/148089. pdf.
- Campos Rodrigues L.M., Freire-González J., González Puig A., Puig-Ventosa I. (2016). Costes y beneficios de la adaptación al cambio climático en el sector del turismo de nieve en España. Revista Ambienta 114: 96-108.
- Campos Rodrigues, L., Freire-González, J., González Puig, A., & Puig-Ventosa, I. (2018). Climate change adaptation of Alpine ski tourism in Spain. Climate, 6(2), 29.
- Carrillo, J., González, A., Pérez, J.C. *et al.,* Projected impacts of climate change on tourism in the Canary Islands. Reg Environ Change 22, 61 (2022). https://doi.org/10.1007/s10113-022-01880-9
- COACCH (2022). D2.4 Impacts on Industry, Energy, Services and Trade. https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2018/03/D2.4_revMAR2022.pdf
- CONAMA (2021). La Adaptación al Cambio Climático en los Archipiélagos Balear y Canario. https://www.fundacionconama.org/wp-content/uploads/Informe-Conexion-Insular-editado-Jun2021.pdf

- Díaz-Poso, A., Royé, D., & Martínez-Ibarra, E. (2023). Turismo y Cambio Climático: Aplicación del Holiday Climate Index (HCI:Urban) en España en los meses de verano para mediados y finales de siglo. Investigaciones Turísticas, (26), 274–296. https://doi.org/10.14198/INTURI.23493
- Demiroglu, O. Cenk, F. Sibel Saygili-Araci, Aytac Pacal, C. Michael Hall, and M. Levent Kurnaz. 2020. "Future Holiday Climate Index (HCI) Performance of Urban and Beach Destinations in the Mediterranean" Atmosphere 11, no. 9: 911. https://doi.org/10.3390/atmos11090911
- EEA European Environmental Agency (2024). European Climate Risk Assessment (Publication No. 01/2024). Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Eklund, G., Sibilia, A., Salbi, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z., Corbane, C., 2023. Towards a European wide vulnerability framework: a flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators. Publications Office, LU.
- Espín-Sánchez D, Olcina-Cantos J, Conesa-García C. Temporal Changes in Tourists' Climate-Based Comfort in the Southeastern Coastal Region of Spain. Climate. 2023; 11(11):230. https://doi.org/10.3390/cli11110230
- Esteban Talaya, López Palomeque & Aguiló Pérez (2005). Impactos sobre el sector turístico. En Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/evaluacion_preliminar_impactos_2005_tcm30-178491.pdf
- ESPON (2022) ESPON-CLIMATE Update 2022. Updating and Integrating CLIMATE Datasets and Maps. Final Report. ESPON EGTC, Luxembourg.
- Exceltur (2024). Valoración Turística Empresarial de 2023 y perspectivas para 2024. #87. Enero 2024. https://www.exceltur.org/
- Farooq, Z., Sjödin, H., Semenza, J. C., Tozan, Y., Sewe, M. O., Wallin, J., & Rocklöv, J. (2023). European projections of West Nile virus transmission under climate change scenarios. One Health, 16, 100509. https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100509
- Fernández-Martínez, Pampaka, Suárez-Sánchez, Figuerola, Sierra, León-Gómez, del Aguila, Gómez-Barroso (2024). Spatial analysis for risk assessment of dengue in Spain, Enfermedades infecciosas y microbiología clínica (English ed.), Volume 42, Issue 8, 2024, Pages 406-413, ISSN 2529-993X, https://doi.org/10.1016/j.eimce.2023.06.010.
- Fernández-Reyes, R. (2021). La adaptación al cambio climático en la prensa española (2012-2019). Proyecto LIFE SHARA "Sharing Awareness and Governance of Adaptation to Climate Change". Madrid.
- Ferreira, J. P., D. Court, C., Basurto-Cedeño, E., & Pennington-Gray, L. (2024). Using the 2016 Zika outbreak to estimate the potential tourism impacts of a Chikungunya event in Florida. Tourism Economics, 30(4), 1062-1080.
- Fundación ENT (2017). Adaptación al Cambio Climático de Zonas Urbanas Costeras con Elevada Densidad de Población e Interés Turístico y Cultural en España. Informe mayo 2017. Fundacion Biodiversidad.
- García-García D, Fernández-Martínez B, Bartumeus F, Gómez-Barroso D (2024). Modeling the Regional Distribution of International Travelers in Spain to Estimate Imported Cases of Dengue and Malaria: Statistical Inference and Validation Study. JMIR Public Health Surveill 2024;10:e51191 https://publichealth.jmir.org/2024/1/e51191

- García-León, D., Matei, N.A., Batista e Silva, F., Barranco, R., Dosio, A., and J.C. Ciscar (2025). European tourism demand in the face of climate change: Asymmetric impacts, demand reallocation, and deseasonalisation strategies. Environmental Research Letters 20, 024043. DOI 10.1088/1748-9326/adaa04.
- García-Romero, L.; Carreira-Galbán, T.; Rodríguez-Báez, J.Á.; Máyer-Suárez, P.; Hernández-Calvento, L.; Yánes-Luque (2023). A. Mapping Environmental Impacts on Coastal Tourist Areas of Oceanic Islands (Gran Canaria, Canary Islands): A Current and Future Scenarios Assessment. Remote Sens. 2023, 15, 1586. https://doi.org/10.3390/rs15061586
- García-San-Miguel Lucía, Giménez-Durán Jaume, Saravia-Campelli Gabriela, Calvo-Reyes María Cruz, Fernández-Martínez Beatriz, Frank Christina, Wilking Hendrik, García Janer Ramón, Miranda Miguel Ángel, Aznar Cano Esteban, Sierra Moros Mª José, Riutort Antonio Nicolau (2024). Detection of dengue in German tourists returning from Ibiza, Spain, related to an autochthonous outbreak, August to October 2022. Euro Surveill. 2024;29(14):pii=2300296. https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2024.29.14.2300296
- Garola, A., López-Dóriga, U., & Jiménez, J. A. (2022). The economic impact of sea level rise-induced decrease in the carrying capacity of Catalan beaches (NW Mediterranean, Spain). Ocean & Coastal Management, 218, 106034.
- Gobierno de Canarias (2021). Análisis de riesgos costeros ante el cambio climático en las Islas Canarias (PIMA ADAPTA COSTAS).
- Gopalakrishnan, Smith, Slott & Murray (2011). The value of disappearing beaches: A hedonic pricing model with endogenous beach width, Journal of Environmental Economics and Management, Volume 61, Issue 3, 2011, Pages 297-310, ISSN 0095-0696, https://doi.org/10.1016/j.jeem.2010.09.003.
- IEPNB Inventario Español del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (2023). Informe Anual 2023 sobre el estado del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad en España https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/iepnb/informes/InformeIEPNB_2023.pdf
- IHCantabria (2021). Informe nacional básico. Plan Estratégico Nacional para la Protección de la Costa Española considerando los Efectos del Cambio Climático.
- INE Instituto Nacional de Estadística www.ine.es
- Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., Bosom, E., Sánchez-Arcilla, A., & Nicholls, R. J. (2017). Impacts of sea-level rise-induced erosion on the Catalan coast. Regional environmental change, 17, 593-603.
- Junta Andalucía (2022). Estudio y evaluación de impactos y riesgos derivados del cambio climático sobre el litoral andaluz PIMA_ADAPTA.
- MAGRAMA Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016). Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategiaadaptacionccaprobada_tcm30-420088.pdf
- Martínez-Ibarra, E. (2015). Climate, water and tourism: causes and effects of droughts associated with urban development and tourism in Benidorm (Spain). International Journal of Biometeorology, 59, 487-501.
- Martínez Ibarra, E., & Pardo Martínez, R. (2017). Primera aproximación a las preferencias climáticas para la práctica del senderismo en España. Investigaciones Turísticas, (13), 164–177. https://doi.org/10.14198/INTURI2017.13.08

- Martínez-Ibarra, Emilio, María Belén Gómez-Martín, Xosé Anton Armesto-López, and Rubén Pardo-Martínez. 2019. "Climate Preferences for Tourism: Perceptions Regarding Ideal and Unfavourable Conditions for Hiking in Spain" Atmosphere 10, no. 11: 646. https://doi.org/10.3390/atmos10110646
- Matei, N.A., García-León, D., Dosio, A., Batista e Silva, F., Ribeiro Barranco, R., Císcar Martínez, J.C. (2023). Regional impact of climate change on European tourism demand, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/899611, JRC131508.
- Mateos, R. M., Sarro, R., Díez-Herrero, A., Reyes-Carmona, C., López-Vinielles, J., Ezquerro, P., ... & Monserrat, O. (2023). Assessment of the socio-economic impacts of extreme weather events on the coast of southwest Europe during the period 2009–2020. Applied Sciences, 13(4), 2640.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentacion y Medio Ambiente – MAPAMA (2018) Resolucion por la que se declaran obras de emergencia y se ordena la reparación de los daños producidos por los temporales de febrero y marzo de 2018 en las costas españolas. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/costas/temas/proteccion-costa/resolucionbuena2_tcm30-483599.pdf
- Ministerio de Sanidad (2015). Informe de situación y evaluación del riesgo para España de Paludismo https://www.sanidad.gob.es/areas/alertasEmergenciasSanitarias/situacionRiesgo/docs/ER_paludismo_2015_FINAL.pdf
- Ministerio de Sanidad (2023). Plan Nacional de Prevención, Vigilancia y Control de las enfermedades transmitidas por vectores. Parte I. Enfermedades transmitidas por Aedes. Parte II: Enfermedades transmitidas por Culex. Abril 2023 https://www.sanidad.gob.es/areas/alertasEmergenciasSanitarias/preparacionRespuesta/docs/PLAN_DE_VECTORES.pdf
- MINTUR – Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2022). Estrategia Sostenibilidad Turística en Destino (versión revisada marzo 2022). https://turismo.gob.es/es-es/estrategia/V2022_Estrategia_Sostenibilidad_Turistica_Destino.pdf
- Millán López, A., & Fernández García, F. (2018). Propuesta de un índice climático-turístico adaptado al turismo de interior en la Península Ibérica: aplicación a la ciudad de Madrid. Investigaciones Geográficas, (70), 31–46. https://doi.org/10.14198/INGEO2018.70.02
- Millán López, A. (2019). Cambio climático y actividad turística en los espacios urbanos del interior de España: impactos sobre el modelo de aptitud climático-turística de León, Granada y Madrid. Investigaciones Geográficas, (72), 53–73. https://doi.org/10.14198/INGEO2019.72.03
- Millán López, A. (2023). Climatología del Turismo Aplicada ante la dinámica de complementariedad litoral-interior: la provincia de Granada como base de estudio. Cuadernos Geográficos, 62(1), 150–170. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i1.24076
- Miró Pérez, J. J., & Olcina Cantos, J. (2020). Cambio climático y confort térmico. Efectos en el turismo de la Comunidad Valenciana. Investigaciones Turísticas, (20), 1–30. https://doi.org/10.14198/INTURI2020.20.01
- MITECO21, ver Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020.
- Norman FF, Henríquez-Camacho C, Díaz-Menendez M, Chamorro S, Pou D, Molina I, Goikoetxea J, Rodríguez-Guardado A, Calabuig E, Crespillo C, Oliveira I, Pérez-Molina JA, López-Velez R (2020). Redivi Study Group. Imported Arbovirus Infections in Spain, 2009-2018. Emerg Infect Dis. 2020 Apr;26(4):658-666. doi: 10.3201/eid2604.190443. PMID: 32186486; PMCID: PMC7101102.
- Nunes, P. A., Loureiro, M. L., Piñol, L., Sastre, S., Voltaire, L., & Canepa, A. (2015). Analyzing beach recreationists' preferences for the reduction of jellyfish blooms: Economic results

from a stated-choice experiment in Catalonia, Spain. PloS one, 10(6), e0126681.

- Lam-González, Y.E.; Galindo, C.G.; Hernández, M.M.G.; León, C.J. (2021). Understanding the Heterogeneity of Tourists' Choices under Climate Change Risks: A Segmentation Analysis. Atmosphere 2021, 12, 22. https://doi.org/10.3390/atmos12010022
- Lam-González, León, de León & Suarez (2022). The Impact of Degradation of Islands Land Ecosystems Due to Climate Change on Tourist Travel Decisions. Atmosphere, 11, 1117; http://dx.doi.org/10.3390/atmos11101117
- León, C. J., Lam-González, Y. E., Galindo, C. G., & Hernández, M. M. G. (2020). Measuring the Impact of Infectious Diseases on Tourists' Willingness to Pay to Visit Island Destinations. Atmosphere, 11(10), 1117. https://doi.org/10.3390/atmos11101117
- LIFE ADAPT Cala Millor https://caib.es/sites/adaptcalamillor/es/
- Loehr, J., & Becken, S. (2024). Institutionalised tourism policy goals: fit to address climate change? Journal of Sustainable Tourism, 1–19. https://doi.org/10.1080/09669582.2024.2393254
- Otrachshenko, V., & Nunes, L. C. (2022). Fire takes no vacation: Impact of fires on tourism. Environment and Development Economics, 27(1), 86-101.
- Olcina Cantos, Jorge; Rico Amorós, Antonio M.; Moltó Mantero, Enrique (eds.). Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio. Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante; [Sevilla]: Asociación Española de Climatología, 2016. ISBN 978-84-16724-19-2, pp. 667-678 http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-63
- Olcina Cantos, J., Baños Castiñeira, C. J., & Rico Amorós, A. M. (2016). Medidas de adaptación al riesgo de sequía en el sector hotelero de Benidorm (Alicante, España). Revista de Geografía Norte Grande, (65), 129-153.
- Probstl-Haider, Hodl, Ginner & Borgwardt (2021). Climate change impacts on outdoor activities in the summer and shoulder seasons. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 34, 10034 https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100344
- Ranasinghe, R., Ruane, A. C., Vautard, R., Arnell, N., Coppola, E., Cruz, F. A., ... & Zaaboul, R. (2021). Climate change information for regional impact and for risk assessment. (IPCC AR6 WG I, Chap 12).
- Rasilla, Domingo F. 2021. "Impact of Climate Variability on Climate Beach-Based Tourism Aptitude: A Case Study in the Atlantic Coast of SW Europe" Atmosphere 12, no. 10: 1328. https://doi.org/10.3390/atmos12101328
- Raybould, M., Anning, D., Ware, D., & Lazarow, N. (2013). Beach and Surf Tourism and Recreation in Australia: Vulnerability and Adaptation. Bond University. https://beachandsurf.files.wordpress.com/2013/10/bastra-final-report.pdf
- Reisinger, A. *et al.,* (2020). "The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A summary of cross-working group discussions." Intergovernmental Panel on Climate Change 15 (2020): 130.
- Rodrigues, L. C., Van den Bergh, J. C., Loureiro, M. L., Nunes, P. A., & Rossi, S. (2016). The cost of Mediterranean Sea warming and acidification: a choice experiment among scuba divers at Medes Islands, Spain. Environmental and resource economics, 63, 289-311.
- Sánchez, F. G., Sánchez, H. G., & Ribalaygua, C. (2020). Cultural heritage and sea level rise threat: risk assessment of coastal fortifications in the Canary Islands. Journal of Cultural Heritage, 44, 211-217.

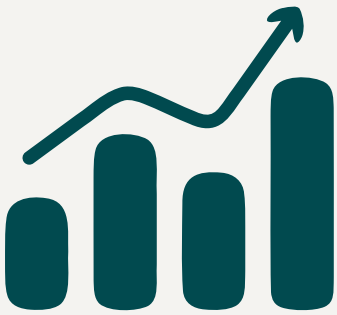
- Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informeimpactosriesgosccespana_tcm30-518210.pdf
- SEGITTUR (Sociedad Mercantil Estatal para la Gestión de la Innovación y las Tecnologías Turísticas) https://www.segittur.es/
- SOCIB (2021) Análisis de riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears. Volumen 1 https://caib.es/sites/costespelcanvi/es/informe_de_/archivopub.do?ctrl=MCRST11806ZI449511&id=449511
- Sousa, A., Aguilar-Alba, M., Vetter, M. *et al.,* (2021) Drivers of autochthonous and imported malaria in Spain and their relationship with meteorological variables. Euro-Mediterr J Environ Integr 6, 33. https://doi.org/10.1007/s41207-021-00245-8
- Steiger, R., Knowles, N., Pöll, K., & Rutty, M. (2024). Impacts of climate change on mountain tourism: A review. Journal of Sustainable Tourism, 32(9), 1984-2017.
- Tomatis, F. (2020). Análisis de posibles repercusiones del cambio climático sobre el Camino de Santiago Francés en su paso por Castilla y León (España). Revista interamericana de ambiente y turismo, 16(2), 202-216.
- Toubes, D.; Araújo-Vila, N.; Fraiz-Brea, J.A. Influence of Weather on the Behaviour of Tourists in a Beach Destination. Atmosphere 2020, 11, 121. https://doi.org/10.3390/atmos11010121
- TURESPAÑA (Instituto de Turismo de España) https://www.tourspain.es/es/

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Sistema financiero y actividad aseguradora



GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autores: Silvia Fernández Rodicio (IH Cantabria), Íñigo Losada Rodríguez (IH Cantabria)

Agradecimientos: María Cantero Saiz (Universidad de Cantabria)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Fernández Rodicio, S. y Losada, I.J. (2025) Sistema financiero y actividad aseguradora. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 1260

2. Introducción / pág. 1262

3. Riesgos relevantes del sistema financiero y la actividad aseguradora / pág. 1266

4. Riesgos clave / pág. 1282

4.1. RC13.1 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático / pág. 1283

4.2. RC13.2 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático / pág. 1291

4.3. RC13.3 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez / pág. 1299

4.4. RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima / pág. 1307

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 1315

6. Caso de estudio / pág. 1321

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector / pág. 1323

8. Referencias / pág. 1326

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Sistema financiero y actividad aseguradora de la Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos compuestos, impactos

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos**. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

El sistema financiero y la actividad aseguradora tienen una relevancia sistémica fundamental en la economía global y local, ya que son un pilar esencial para el funcionamiento adecuado de otras industrias y para la estabilidad económica general. Esto hace que sean dos sectores con múltiples interrelaciones y cuyas perturbaciones generen notorios efectos en cascada con importantes implicaciones para el conjunto de los sistemas socioeconómicos.

El sector financiero realiza la importante labor de la intermediación financiera, facilitando la asignación eficiente de recursos financieros y el acceso al crédito, lo que es crucial para el crecimiento económico, la inversión productiva o la innovación. Además, es uno de los garantes de la estabilidad y la confianza económica. La actividad aseguradora, por su parte, cumple una función crítica en la gestión de riesgos, permitiendo a empresas y particulares, mediante coberturas, hacer frente a riesgos económicos y físicos. El sector financiero y la actividad aseguradora están intrínsecamente relacionados, y uno y otro se complementan en su labor indispensable para el buen funcionamiento de la economía en su conjunto.

El sistema financiero y la actividad aseguradora tienen un peso importante en la economía española, representando el 4,3 % del VAB en 2022 (INE, 2024). España cuenta con una economía bastante bancarizada, teniendo históricamente el sector bancario gran importancia. Sin embargo, su contribución directa al PIB ha disminuido en los últimos años por la crisis financiera de 2008 y por el proceso de reestructuración bancaria: actualmente, el sector representa el 3,1 % del PIB (Maudos, 2023). Una característica definitoria del sector bancario español es su alta concentración (los cinco mayores bancos concentran más del 80 % de los activos totales del sistema financiero), lo que permite una mayor estabilidad en detrimento de una mayor competencia entre entidades. La caída en el número de competidores y el aumento de la concentración que se han venido produciendo desde la crisis de 2008 son muy superiores a la media europea (Maudos, 2016).

La supervisión del sistema financiero español se articula en torno a tres órganos: el Banco de España, la Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV) y la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones (DGSFP), todos ellos integrados en la Autoridad Macroprudencial Consejo de Estabilidad Financiera (AMCESFI), que vela por la estabilidad financiera a través de la identificación, prevención y mitigación de todo aquello que pueda originar riesgo sistémico (AMCESFI, 2023). El Banco de España se encarga del control del sector de crédito, mientras que la CNMV y la DGSFP monitorizan el sector de valores y el sector de seguros y fondos de pensiones, respectivamente.

El sector asegurador español está ampliamente desarrollado, con presencia de grandes grupos nacionales e internacionales, representando un 4,9 % del PIB en 2022 (DGSFP - MINECO, 2022). Al igual que ocurre en el caso del sector bancario, el sector del seguro presenta una alta concentración, con cinco aseguradoras copando la mayor parte del mercado, una tendencia que se refuerza cada año (DGSFP - MINECO, 2022). Uno de los agentes clave sin el cual no se entendería el funcionamiento del sector asegurador español es el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), entidad de derecho público con personalidad jurídica propia bajo la forma de entidad pública empresarial, adscrita al Ministerio de Economía, Comercio y Empresa (MINECO) a través de la DGSFP. Sus principales funciones están relacionadas con la cobertura de riesgos extraordinarios (a través del Seguro de Riesgos Extraordinarios), el seguro obligatorio de automóviles, el Seguro Agrario Combinado (donde actúa como reaseguro y controla las peritaciones) y la liquidación de entidades aseguradoras (CCS, 2024). El CCS dota de robustez al sector asegurador español, ya que funciona como garantía para eventos no cubiertos por las aseguradoras privadas, especialmente en el caso de los riesgos extraordinarios, actuando como asegurador directo siempre y cuando el agente siniestrado tenga un seguro contratado previo con alguna de estas entidades. Otros actores relevantes en el ámbito del sector asegurador español son Agroseguro y la Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA). Agroseguro es la Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados, entidad que gestiona el Seguro Agrario Combinado, el cual protege los cultivos agrícolas y la cabaña ganadera frente a determinados riesgos, especialmente climatológicos (Agroseguro, 2024). ENESA, por su parte, actúa como órgano de coordinación y enlace por parte de la administración para el desarrollo de los Seguros Agrarios, concediendo subvenciones a los agricultores y ganaderos para atender el pago de una parte del coste del seguro (ENESA, 2024).

La economía española es especialmente sensible a los impactos climáticos. Esto se debe a su estructura productiva, con grandes dependencias de sectores vulnerables como el turístico, el inmobiliario o el energético. Todo ello hace que sus sectores financiero y asegurador también estén expuestos a los efectos del cambio climático, haciendo frente a riesgos físicos que pueden manifestarse en forma de acontecimientos puntuales de alta intensidad (denominados riesgos agudos), que son los eventos climáticos extremos, y también a través de fenómenos de progresión más lenta (riesgos crónicos), que suponen cambios en el clima a más largo plazo. Además, el sector financiero está expuesto a los denominados riesgos de transición, que son aquellos derivados de las políticas asociadas a la descarbonización de la economía (AMCESFI, 2023).

Existe una importante falta de literatura en lo que concierne al análisis de los riesgos del cambio climático para el sistema financiero y la actividad aseguradora en España. No obstante, cada vez se percibe una mayor concienciación e implicación de las instituciones y entidades del sector. Una prueba de ello es la publicación del Primer Informe bienal de riesgos del cambio climático para el

sistema financiero (AMCESFI, 2023), elaborado en el marco de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, y que tiene por objetivo evaluar los riesgos asociados al cambio climático para el sistema financiero español, así como examinar el grado de cumplimiento de las metas del Acuerdo de París. En el ámbito de los seguros, un informe pionero es el publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) sobre Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la actividad aseguradora (Hidalgo Pérez, 2020), el cual realiza un análisis en profundidad sobre la actividad aseguradora y su relación con el cambio climático, deteniéndose en las particularidades del caso español, un sector referente a nivel internacional.

Finalmente, es importante señalar que el sistema financiero y la actividad aseguradora pueden actuar como catalizadores de la adaptación al cambio climático mediante la detección de oportunidades de inversión y de medidas que incentiven la prevención de riesgos (MITECO, 2020). Este contexto supone una oportunidad para el sistema financiero, en particular para el bancario, al ser un agente clave en la intermediación financiera necesaria para llevar a cabo las inversiones que la transición hacia una economía descarbonizada requiere a través de iniciativas como la colocación y emisión de bonos verdes (González Martínez & Núñez Ramos, 2020). Los seguros, por su parte, son una herramienta financiera idónea para hacer frente a las pérdidas originadas por los riesgos del cambio climático y, por tanto, para aumentar la capacidad de recuperación y la resiliencia de las sociedades (Álvarez, *et al.,* 2016). Sin embargo, aún queda mucho camino por recorrer, puesto que un porcentaje muy elevado de las pérdidas recientes provocadas por el cambio climático no estaba asegurado (EEA, 2024).

Para delimitar el sector "Sistema financiero y actividad aseguradora" en este análisis, se han considerado aquellas entidades que tienen obligación de reportar el riesgo según la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética (Ley de cambio climático, 2021) y la Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo por lo que respecta a la presentación de información sobre sostenibilidad por parte de las empresas (CSRD - Corporate Sustainability Reporting Directive) (UE, 2022), así como el marco de análisis del Informe bienal de riesgos del cambio climático para el sistema financiero (AMCESFI, 2023). Por tanto, según estos criterios, el perímetro fijado para el estudio incluye los siguientes elementos:

- Entidades de crédito (sector crédito).
- Aseguradoras y reaseguradoras (sector seguros).
- Fondos de inversión (sector valores).

El análisis realizado se centra en el sector privado y no considera la rama de las finanzas públicas. Además, los riesgos han sido definidos, principalmente, desde el lado de la oferta, es decir, siendo las entidades anteriormente mencionadas los agentes receptores de esos impactos. Por otro lado, se consideran solo los riesgos físicos y no los de transición, puesto que esta evaluación está destinada a alimentar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), el cual se centra en los primeros, siendo los segundos abordados en otras políticas y planes. No obstante, en el apartado de Riesgos relevantes se hará una mención a los principales riesgos de transición que soporta el sector según los informes de la "Task Force on Climate-related Financial Disclosures".

3. Riesgos relevantes del sistema financiero y la actividad aseguradora

Los riesgos relevantes del sistema financiero y la actividad aseguradora son aquellos que tienen un alto potencial de producir consecuencias adversas en el sector y que pueden llegar a afectar negativamente la operatividad, rentabilidad y sostenibilidad de este. Estos riesgos son el resultado de la interacción dinámica entre los peligros climáticos, la exposición y la vulnerabilidad que caracteriza al sector, y pueden cambiar con el tiempo y el espacio debido a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas (Reisinger, *et al.*,2020).

Comenzando por los **peligros climáticos**, cabe señalar que no se han encontrado evidencias de una variable concreta que incida directamente sobre el sector. Sin embargo, este se ve afectado por aquellos peligros que impactan al territorio español en general. Así, los efectos sobre sectores como el agrícola, forestal, inmobiliario, turístico, energético o industrial también repercuten en el sistema financiero y la actividad aseguradora. Por tanto, siguiendo el PNACC (MITECO, 2020), los principales peligros que afectan a nuestro país y que, por ende, podrían afectar al sector de análisis son el incremento de las temperaturas, el calor extremo, la sequía, la aridez, el aumento o reducción de la precipitación media, las inundaciones (pluviales, fluviales y costeras), el aumento del nivel del mar, el tiempo propicio a los incendios forestales y los fuertes vientos. También, en menor medida, la erosión costera, los deslizamientos de tierra, las granizadas y las heladas (Sanz & Galán, 2020). En el capítulo de Variables climáticas se puede profundizar sobre la descripción y las proyecciones de evolución de cada uno de estos peligros climáticos.

Los peligros previamente mencionados tienen efecto sobre los siguientes elementos, los cuales determinan la **exposición** del sector:

- **Operaciones:** los peligros pueden afectar de forma directa o indirecta a la operatividad de las entidades financieras y aseguradoras a través del daño en sus infraestructuras y redes de suministros (González Martínez & Núñez Ramos, 2020).

- **Activos:** los peligros pueden incidir sobre la cartera de las entidades financieras y sus productos a través del impacto vía **mercado** (corrección de precios-reducción del valor del activo) y del impacto vía **crédito** (aumento del riesgo de incumplimiento-impagos) (EEA, 2024) (Grippa, *et al.*,2019).

- **Liquidez:** los peligros pueden impactar de forma más general sobre el sistema económico, tensionando la disponibilidad de liquidez tras la ocurrencia de eventos climáticos extremos (EEA, 2024) (González Martínez & Núñez Ramos, 2020).

- **Aseguramiento:** los peligros pueden afectar a bienes asegurados de los sectores previamente mencionados, generando, en consecuencia, un aumento en las compensaciones por parte de las entidades aseguradoras, que podrían volverse más frecuentes y cuantiosas (Grippa, *et al.*,2019).

En cuanto a la **vulnerabilidad** del sector, si se analiza desde un punto de vista holístico, atendiendo a la aproximación definida por Eklund *et al.* (2023), se observa que dicho componente comprende cinco dimensiones:

- La dimensión **físico-tecnológica** hace referencia a la predisposición que presentan las infraestructuras a verse afectadas y atiende a factores como la resiliencia o la calidad de estas.

- La segunda dimensión describe los factores relevantes que inciden en la vulnerabilidad desde una perspectiva **económica**. Aquí se incluyen aspectos generales como las dependencias sectoriales existentes en el sistema productivo español (como el turismo, el sector servicios, la energía, la construcción y el sector inmobiliario (INE, 2024)); la falta de diversificación en las carteras de las entidades; la falta de recursos financieros para responder a eventos climáticos extremos (como la inexistencia de planes de contingencia); la falta de seguros y de coberturas adecuadas, fenómeno conocido como "Brecha del Seguro" (Álvarez, *et al.*,2016); la concentración bancaria (Ranger, *et al.*,2022) y la concentración en el mercado asegurador; la fragilidad en la estructura de capital de las empresas; las expectativas de los inversores (EEA, 2024); y aspectos más concretos como la generación de burbujas en el sector inmobiliario.

- El siguiente componente, relativo a la vulnerabilidad **social**, abarca la falta de equidad social o la presencia de grupos altamente vulnerables desde un punto de vista social, lo cual muchas veces acarrea también un componente económico, al tratarse de grupos caracterizados por tener un acceso reducido a los recursos e infraestructuras del sistema financiero. También se incluye aquí la percepción social del riesgo, muy relacionada con el horizonte temporal de los impactos (González Martínez & Núñez Ramos, 2020), el cual es de longitud mayor que los horizontes utilizados en la planificación de negocios y valoración de riesgos (la "tragedia del horizonte", denominada así por Mark Carney,

antiguo gobernador del Banco de Inglaterra[3]): la dimensión temporal del problema del cambio climático va mucho más allá de los ciclos económicos, políticos y regulatorios en los que se afrontan los problemas habituales (Álvarez, *et al.*,2016), lo cual tiene especial relevancia para el ámbito financiero y la contratación de seguros.

- La vulnerabilidad **ambiental** representa la cuarta dimensión y corresponde a aquellos factores ambientales que afectan, desde un punto de vista general, a los sistemas socioeconómicos y que influyen de forma indirecta en el sector, como la degradación de ecosistemas o la dependencia de recursos naturales.

- La última dimensión, la de **gobernanza**, incluye aspectos como la adecuación del marco regulatorio y supervisor (Ranger, *et al.*,2022), la efectividad de las políticas de gestión de riesgos climáticos, la intervención del CCS, la concesión de subvenciones para la contratación del Seguro Agrario Combinado (ENESA) o la capacidad de respuesta política frente a eventos climáticos extremos.

Al mismo tiempo, otros **factores de riesgo subyacentes** agravan la exposición y vulnerabilidad que presenta el sector ante los peligros previamente descritos. Quizá los más relevantes para el sistema financiero y la actividad aseguradora son los denominados riesgos de transición, aquellos derivados de las políticas asociadas a la descarbonización de la economía:

Riesgos de transición

De acuerdo con lo establecido por el grupo de trabajo "Task Force on Climate-related Financial Disclosures" (TCFD), creado a instancias del Consejo de Estabilidad Financiera (FSB) y del G20 con el objetivo de fomentar la compilación de información para que las entidades financieras puedan gestionar y valorar los riesgos del cambio climático, y puedan tomar mejores decisiones de préstamo, inversión o contratación de seguros (Álvarez, *et al.*,2016), estos riesgos incluyen (TCFD, 2020):

- **Riesgos políticos y jurídicos:** incluyen cambios en las políticas y regulaciones climáticas, así como cambios en los subsidios o incentivos que promueven prácticas que contribuyen tanto a la mitigación como a la adaptación climática. Dentro de estos riesgos también se encuentran los relacionados con los litigios climáticos en los que puedan

[3] Breaking the tragedy of the horizon - climate change and financial stability - speech by Mark Carney https://www.bankofengland.co.uk/speech/2015/breaking-the-tragedy-of-the-horizon-climate-change-and-financial-stability

verse envueltas las entidades por daños medioambientales o incumplimiento de normativas climáticas: las partes demandadas podrían buscar la transferencia de parte o de la totalidad de los costes de dichos litigios a las compañías aseguradoras mediante contratos de responsabilidad civil o medioambiental, son los denominados **riesgos de responsabilidad** (Álvarez, *et al.*,2016).

- **Riesgos tecnológicos:** son aquellos derivados de las mejoras o innovaciones tecnológicas propias del proceso de transición hacia un sistema económico bajo en carbono que puedan desplazar a las industrias tradicionales, afectando a su competitividad e impactando indirectamente en el sistema financiero.

- **Riesgos de mercado:** hacen referencia a los cambios en las preferencias de mercado que pueden afectar a la oferta y demanda de determinados productos y servicios a medida que los riesgos climáticos tienen lugar y surgen nuevas oportunidades.

- **Riesgos reputacionales:** están relacionados con la percepción de los consumidores con respecto a la contribución de las entidades a la transición. Esta creciente conciencia por parte de los consumidores puede dar lugar a la pérdida de clientes, al deterioro de la imagen de la entidad, a reacciones por parte de movimientos sociales —llegando a traducirse en litigios climáticos—, e incluso a la falta de interés por parte de los inversores.

Otros factores de riesgo subyacentes pueden ser los procesos de migración climática por cambios en la habitabilidad de las regiones por una mayor incidencia de eventos climáticos extremos o las perturbaciones en las cadenas de suministro globales causadas por el cambio climático (EEA, 2024; BBVA, 2022; González Martínez & Núñez Ramos, 2020).

Además, existen otro tipo de riesgos subyacentes a los que está expuesto el sector; son los denominados "eventos de **cisne negro**", un término desarrollado por el autor Nassim Nicholas Taleb que hace referencia a un suceso atípico e inesperado con un impacto extremo sobre el sistema (Taleb, 2007) (p. ej. guerras, pandemias, invenciones destacadas...).

Finalmente, se han identificado los siguientes **impactos** derivados de la afección a la operatividad, liquidez, rentabilidad y solvencia de las entidades financieras y aseguradoras que se produce por la materialización de los riesgos climáticos, suponiendo todos importantes efectos en la economía real (EEA, 2024):

- Empeoramiento del acceso al crédito para otros sectores.

- Quiebra de entidades financieras y aseguradoras.
- Aumento de los tipos de interés para controlar la inflación.
- Incertidumbre y volatilidad en los mercados financieros.
- Riesgo sistémico.

En última instancia, es importante hacer referencia a las **infraestructuras críticas** del sector, definidas como aquellas infraestructuras estratégicas cuyo funcionamiento resulta indispensable y no puede ser sustituido por soluciones alternativas, de modo que su alteración o destrucción generaría un grave impacto sobre los servicios esenciales. En este marco, se entiende por infraestructuras estratégicas aquellos elementos físicos o tecnológicos —instalaciones, redes, sistemas y equipos— sobre los que se sustenta el funcionamiento de dichos servicios esenciales. Estas infraestructuras están amparadas por la Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas, y por el Centro Nacional para la Protección de las Infraestructuras Críticas (CNPIC), dependiente de la Secretaría de Estado de Seguridad. Para el caso español y dentro del sector de análisis, pueden considerarse infraestructuras críticas elementos del sistema financiero y tributario. Al ser materia de seguridad nacional, no es sencillo acceder a información específica sobre qué elementos concretos se tipifican bajo esta categoría, pero algunos ejemplos podrían ser el Banco de España o los grandes bancos españoles (Banco Santander, BBVA, CaixaBank, Banco Sabadell, Bankinter, Unicaja (BME, 2025)), siendo sus centros de datos, redes de pagos y sistemas de gestión los elementos más vulnerables. Este tipo de elementos se encuentran expuestos al cambio climático, especialmente desde un punto de vista físico. Aquellas perturbaciones causadas por variaciones en el clima que se produzcan en estos elementos tendrán un mayor impacto en el sistema al formar parte de infraestructuras que son críticas y, por tanto, estratégicas para el país.

La **Figura 1** representa de forma esquemática todos los componentes previamente descritos: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del sector a dichos peligros, las diferentes vulnerabilidades y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada recientemente por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de los distintos componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector.

Sistema financiero y actividad aseguradora

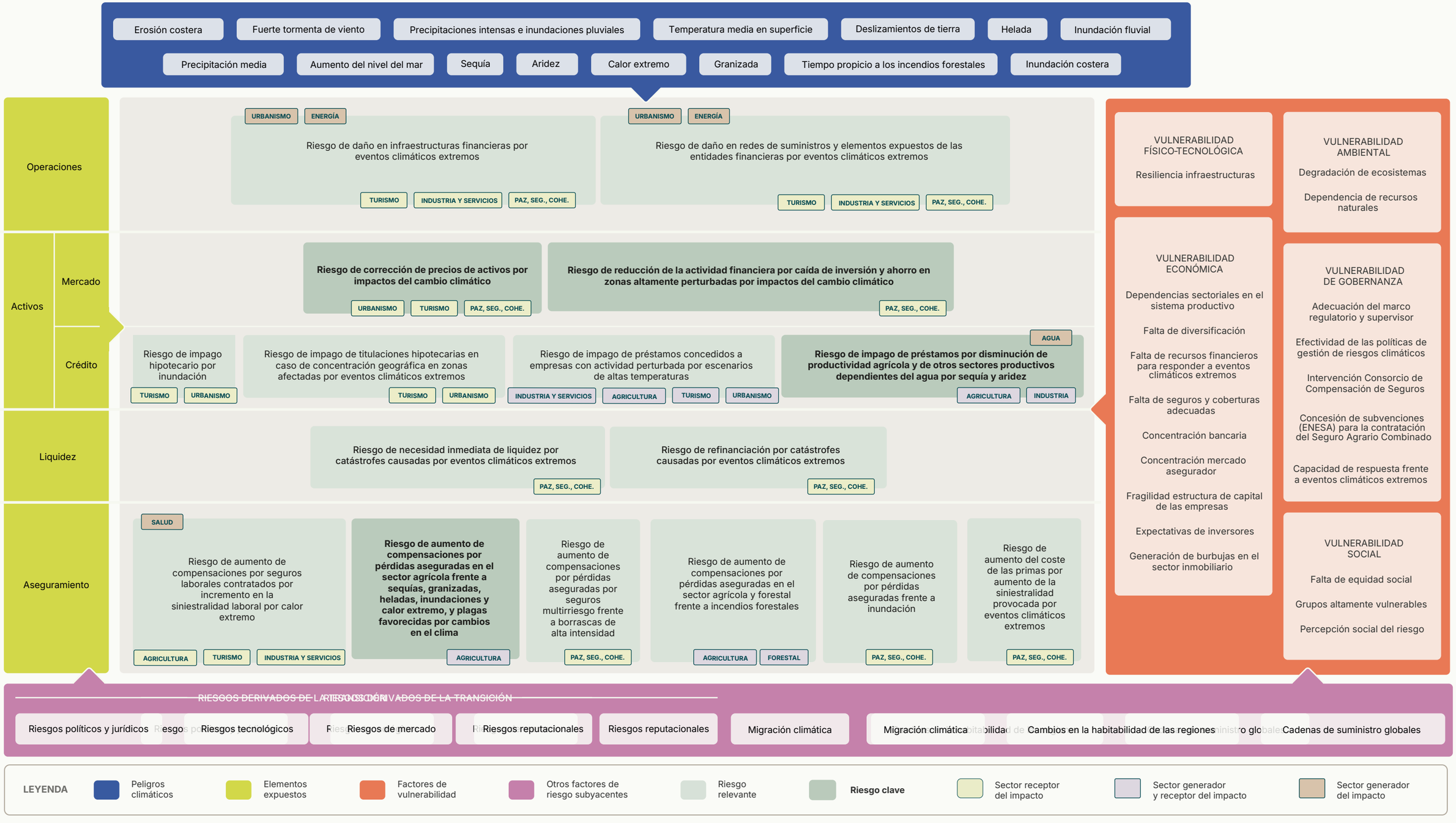


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el sector "Sistema financiero y actividad aseguradora".

Los riesgos relevantes (RR) identificados para el sistema financiero y la actividad aseguradora se resumen en la Tabla 1 y se describen a continuación:

Riesgos relevantes relativos a la operatividad

Estos riesgos están relacionados con la interrupción de la actividad y los procesos de las entidades a causa de la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

- **RR13.1 Riesgo de daño en infraestructuras financieras por eventos climáticos extremos.** A pesar de que no se ha encontrado ningún estudio específico para el caso español, este riesgo se considera relevante desde un punto de vista operacional por la posible afección a cajeros, sucursales, oficinas e infraestructuras financieras generales (BBVA, 2022) (González Martínez & Núñez Ramos, 2020). Además, cabe señalar que, pese a que su número se ha reducido debido al proceso de reestructuración que ha experimentado el sector, la densidad de la red de oficinas bancarias en España es de las más elevadas de la Unión Europea (Maudos, 2016), lo que supone un aumento de la exposición. Este riesgo tendría impacto en todo el territorio español al encontrarse estas infraestructuras diseminadas por toda la Península, aunque cabe señalar que, en el caso de los cajeros y las sucursales, estos presentan una mayor concentración en el litoral (Banco de España, 2024). A nivel más general, pueden encontrarse referencias en los informes de la iniciativa "Network for Greening the Financial System[4]" (NGFS, 2020), concretamente para el caso de inundación. Cabe mencionar, no obstante, que la mayor parte de los servicios financieros se proveen actualmente de manera virtual, lo cual minora notablemente el impacto de este riesgo.

- **RR13.2 Riesgo de daño en redes de suministros y elementos expuestos de las entidades financieras por eventos climáticos extremos.** De nuevo, no se ha encontrado ningún estudio específico para el caso español, pero se trata de un riesgo considerado relevante dado el importante componente virtual que tiene la provisión de los servicios financieros. A nivel más general, pueden encontrarse referencias en los informes de la NGFS (2020), concretamente para el caso de daño en el suministro de energía por aumento de las temperaturas o por mayor incidencia de olas de calor. Este riesgo está intrínsecamente vinculado con el sector energético, así como con el ámbito de las telecomunicaciones, que son claves para la operativa virtual y el funcionamiento ordinario de las entidades financieras.

[4] Lanzada en la Paris One Planet Summit en diciembre de 2017, se trata de una red de Bancos Centrales y Supervisores dispuestos, de forma voluntaria, a compartir las mejores prácticas y contribuir al desarrollo de la gestión del riesgo medioambiental y climático en el sector financiero, así como a las finanzas para apoyar la transición hacia una economía sostenible (NGFS, 2024).

Riesgos relevantes relativos al mercado

Estos riesgos abarcan aquellos que tienen que ver con las pérdidas de valor de los activos asociadas a fluctuaciones en su precio provocadas por cambios en el clima. También se incluyen aquí perturbaciones más generales causadas por el impacto del cambio climático en las variables de ahorro e inversión.

- **RR13.3 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático**. Este riesgo es de especial relevancia al incluir el impacto en activos tanto tangibles (p. ej. bienes inmobiliarios) como financieros (valores). En el caso de España, tiene una importante materialización, como muestra el estudio sobre la pérdida de valor de las viviendas afectadas por la degradación ecológica del Mar Menor donde, además, la percepción social del riesgo juega un importante papel en la psicología inversora (Lamas Rodríguez, *et al.*,2023). Por su parte, los informes de la NGFS (2020) hacen referencia al impacto causado por tormentas en el valor de los activos inmobiliarios situados en áreas costeras. Cabe señalar que, con respecto al caso de los valores, existe cierta inquietud en relación con la infraestimación de los riesgos físicos en sus precios (Faccini, *et al.*,2023).

- **RR13.4 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático**. Este riesgo está vinculado con una menor demanda de crédito nuevo o mayores restricciones de oferta de crédito (EEA, 2024). Existen estudios que analizan estas consecuencias para el caso de España, como el de AMCESFI (2023), que analiza el impacto de una menor demanda de crédito provocada por la caída de la productividad en sectores como el inmobiliario, el de la construcción, el forestal y el de transporte en un episodio de sequías y olas de calor severas. Álvarez-Román *et al.,* (2024) afirman que las empresas afectadas por un incendio en España ven reducido su empleo y su acceso al crédito (especialmente por parte de los grandes bancos, aunque no tanto por parte de los bancos locales, que tienen acceso a más "soft information[5]"). Cabe señalar que, aparte de la incidencia de los eventos agudos, este riesgo viene dado también por fenómenos crónicos como la desertificación: Broto & Hubert (2024) concluyen que la desertificación en España reduce el crédito empresarial (especialmente en el sector agrícola, aunque supone una oportunidad para el sector turístico en las regiones con clima más húmedo). Es importante mencionar también que el impacto de este riesgo es latente

[5] "Soft information" es aquella que es difícil de reducir a una puntuación numérica, que requiere un conocimiento de su contexto para comprenderla plenamente y que pierde utilidad cuando se separa del entorno en el que se obtuvo. "Hard information" es cuantitativa, fácil de almacenar y transmitir, y su contenido informativo es independiente de la forma en la que obtuvo. (Liberti & Petersen, 2018).

en eventos recientes, como es el caso de las inundaciones causadas por la dana de 2024 acaecida en el tercio este peninsular. Aunque las consecuencias económicas de este evento extremo que afectó principalmente a la provincia de Valencia son aún difíciles de estimar (Montoriol Garriga, *et al.*,2024), se esperan importantes efectos sobre la actividad financiera (Banco de España, 2024).

Riesgos relevantes relativos al crédito

Estos riesgos se derivan del incumplimiento de las obligaciones financieras provocado por fenómenos climáticos extremos.

- **RR13.5 Riesgo de impago hipotecario por inundación**. Este riesgo y el siguiente tienen la particularidad de verse mitigados por la obligación que imponen de asegurar las viviendas hipotecadas las entidades concesionarias de hipotecas en España. Este seguro cubre gran parte de los peligros climáticos e hidrometeorológicos, bien a través de las aseguradoras privadas o bien a través del CCS, el cual cubre las inundaciones extraordinarias[6] a través del Seguro de Riesgos Extraordinarios (Real Decreto del seguro de riesgos extraordinarios, 2004). No obstante, cabe señalar que esto implica una transferencia de riesgos del mercado hipotecario a la actividad aseguradora. La incidencia de las inundaciones es notoria en España y se espera que esta tendencia aumente (CEDEX, 2021). Sin embargo, estudios como el de AMCESFI (2023) concluyen que la exposición de la cartera hipotecaria al riesgo de inundación es limitada. No obstante, eventos como la dana de 2024 evidencian una mayor exposición, estimándose que más de 150.000 préstamos para vivienda se han visto afectados (Banco de España, 2024).

- **RR13.6 Riesgo de impago de titulaciones hipotecarias en caso de concentración geográfica en zonas afectadas por eventos climáticos extremos.** El análisis de este riesgo es similar al anterior con la particularidad de que, en el caso de las titulaciones hipotecarias, el riesgo se diversifica mediante su transferencia a otros agentes, aunque, en caso de que la diversificación no sea adecuada (por problemas de riesgo moral o de selección adversa),

[6] "Inundación extraordinaria: el anegamiento del terreno producido por la acción directa de las aguas de lluvia, las procedentes de deshielo o las de los lagos que tengan salida natural, de los ríos o rías o de cursos naturales de agua en superficie, cuando éstos se desbordan de sus cauces normales, así como los embates de mar en las costas. No se entenderá por tal la producida por aguas procedentes de presas, canales, alcantarillas, colectores y otros cauces subterráneos, construidos por el hombre, al reventarse, romperse o averiarse por hechos que no correspondan a riesgos de carácter extraordinario amparados por el Consorcio de Compensación de Seguros, ni la lluvia caída directamente sobre el riesgo asegurado, o la recogida por su cubierta o azotea, su red de desagüe o sus patios." (Real Decreto del seguro de riesgos extraordinarios, 2004).

puede producirse un aumento de la exposición y la vulnerabilidad. Además, cabe señalar que este riesgo está definido para un conjunto mayor de peligros climáticos, algunos de ellos no cubiertos por el CCS (el Seguro de Riesgos Extraordinarios solo cubre los daños provocados por inundaciones extraordinarias y tempestades ciclónicas atípicas en bienes previamente asegurados (Real Decreto del seguro de riesgos extraordinarios, 2004)).

- **RR13.7 Riesgo de impago de préstamos concedidos a empresas con actividad perturbada por escenarios de altas temperaturas (caída de la productividad del factor trabajo, disminuyendo ingresos, aumentando mortalidad e incrementando OPEX y CAPEX).** Los informes de la NGFS (2020) analizan la relación entre las olas de calor y el riesgo de crédito, ya que estas reducen los ingresos y aumentan los costes de mantenimiento y reparación de las entidades no financieras (vía caída de la productividad laboral), favoreciendo el riesgo de impago de sus obligaciones financieras. El impacto de las olas de calor en la productividad laboral es severo en España, siendo uno de los países con mayor afección de Europa (Szewczyk, *et al.*,2021). Este efecto es especialmente significativo en aquellos sectores donde los trabajadores están más expuestos a la meteorología o la actividad depende de ella como, por ejemplo, el turismo, la agricultura, la construcción o el sector inmobiliario, sectores con gran relevancia en el tejido productivo español (Fundación Aon, 2024) (INE, 2024). No obstante, esto tiene un impacto moderado en la actividad financiera española (AMCESFI, 2023).

- **RR13.8 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez.** Los informes de la NGFS (2020) analizan la relación entre las sequías y el riesgo de crédito, ya que estas reducen los ingresos y aumentan los costes operativos de las entidades no financieras, favoreciendo el riesgo de impago de sus obligaciones financieras. La sequía y la aridez tienen un impacto significativo en las empresas españolas del sector agrícola y de aquellos sectores dependientes del agua. Dentro del sector agrario, la sequía afecta tanto a la ganadería como a la agricultura, siendo los cultivos de girasol, almendros y olivos los más expuestos, lo cual aumenta la probabilidad de que crezcan las insolvencias dentro del sector (Crédito y Caución, 2023). El sector agrario presenta un importante volumen de endeudamiento (en 2023 representó el 61% de su VAB) y una tasa de morosidad superior a la del conjunto de las actividades económicas (MAPA, 2023), por lo que el aumento del estrés hídrico previsto por el CEDEX (2017) para el período 2010-2040 podría agravar el riesgo de impago en este sector. Aparte de los mencionados, otros sectores que emplean un importante volumen de agua en sus actividades y en los que se pueden generar insolvencias a causa de la sequía son el de alimentación y bebidas (cerveza, cava), el de papel, la industria química y farmacéutica, y la metalurgia (INE, 2015), así como el sector turístico (INE, 2017). Las ratios de

endeudamiento y morosidad varían a lo largo de estos sectores, por lo que la materialización del riesgo depende también del sector que se analice.

Riesgos relevantes relativos a la liquidez

Estos riesgos hacen referencia a los relacionados con las necesidades de efectivo que se produzcan en el corto plazo para hacer frente a la deuda que se genere en dicho horizonte temporal a causa de eventos climáticos extremos.

- **RR13.9 Riesgo de necesidad inmediata de liquidez por catástrofes causadas por eventos climáticos extremos.** La ocurrencia de eventos climáticos extremos supone un cuantioso aumento del gasto para hacer frente a la reconstrucción del desastre causado por el shock climático (González Martínez & Núñez Ramos, 2020). La necesidad inmediata de liquidez que se produce en hogares y empresas puede tensionar la viabilidad de las entidades financieras. Si varios depositantes deciden retirar sus ahorros de forma simultánea, esto puede aumentar los riesgos de liquidez para las entidades bancarias (Ranger, *et al.*,2022). No existen estudios específicos que analicen este riesgo para el caso español. A nivel más general, pueden encontrarse referencias en los informes de la NGFS (2020), concretamente para el caso de inundación.

- **RR13.10 Riesgo de refinanciación por catástrofes causadas por eventos climáticos extremos.** La ocurrencia de eventos climáticos extremos puede impedir la posibilidad de renovar, extender o reemplazar deudas existentes cuyo pago se haya visto comprometido por el shock climático. No existen estudios específicos que analicen este riesgo para el caso español, pero, a nivel más general, pueden encontrarse referencias en los informes de la NGFS (2020).

Riesgos relevantes relativos al aseguramiento

Estos riesgos incluyen aquellos vinculados a un aumento de las compensaciones por pérdidas aseguradas causado por el impacto del cambio climático.

- **RR13.11 Riesgo de aumento de compensaciones por seguros laborales contratados por incremento en la siniestralidad laboral por calor extremo.** Existen estudios que muestran que el calor es, en España, un factor de riesgo en el trabajo y que favorece la ocurrencia de accidentes laborales (Santurtún, *et al.*,2023) (Hidalgo Pérez, 2020). Algunos de los

sectores más afectados son la construcción o la agricultura (AMCESFI, 2023). En 2023, se aprobaron una serie de medidas que protegen a la población trabajadora expuesta a temperaturas extremas (Real Decreto-ley sobre sequía, Ucrania, transporte público y riesgos laborales, 2023), no obstante, se siguen produciendo accidentes laborales por calor extremo, lo cual tiene un impacto sobre los seguros. Sin embargo, según datos del CCS, el peso de estas indemnizaciones en los balances de las aseguradoras privadas no es muy elevado.

- **RR13.12 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.** Esta amalgama de desastres afecta cada año a todos los cultivos y áreas geográficas de nuestro país (Fundación Aon, 2024). Las pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a este tipo de peligros climáticos están cubiertas por el Seguro Agrario Combinado (Agroseguro, 2024). El ejercicio 2023 se ha cerrado con la cifra de siniestralidad más alta en los 43 años de historia del Seguro por la combinación de los daños por sequía –la más grave hasta el momento– y las tormentas de pedrisco registradas de manera reiterada y en muy diversos ámbitos geográficos (Agroseguro, 2024). El sistema de seguros agrícolas está muy desarrollado en España, sin embargo, el aumento de la frecuencia e intensidad de la mayoría de estos peligros (especialmente en el caso de las sequías, las inundaciones, el calor extremo y las plagas) (Sanz & Galán, 2020) supone un desafío para el sector (Hidalgo Pérez, 2020).

- **RR13.13 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas por seguros multirriesgo frente a borrascas de alta intensidad.** Una parte importante de las pérdidas aseguradas frente a este tipo de peligros climáticos está cubierta por el Seguro de Riesgos Extraordinarios (SRE), gestionado por el CCS. Las aseguradoras privadas, por su parte, cubren todos aquellos daños causados por riesgos no considerados extraordinarios y que, por tanto, no están cubiertos por el SRE. Las borrascas de alta intensidad tienen cada año un impacto considerable en la Península (AEMET, 2025) (AEMET, 2024) (AEMET, 2023). El aumento en la frecuencia e intensidad de este tipo de eventos climáticos ya impacta directamente en el sector: actualmente, la siniestralidad meteorológica supone una cantidad relevante de pagos para las aseguradoras del multirriesgo (entre los 650 y los 1.000M EUR anuales para el período 2017-2021). Asimismo, el número de siniestros oscila entre los 650.000 y los 850.000 (Unespa, 2022). En relación con el SRE, los cálculos actuariales del CCS muestran que el actual Sistema de Riesgos Extraordinarios tendría capacidad para asumir hacia 2050 un aumento de la siniestralidad del 15 al 20 % como consecuencia de los riesgos causados por inundaciones y vientos fuertes (Álvarez, *et al.*,2016), por lo que esa capacidad de resiliencia será clave para el aseguramiento.

- **RR13.14 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola y forestal frente a incendios forestales.** España es uno de los países de Europa con mayor afección por incendios forestales (Sanz & Galán, 2020), lo cual supone un impacto reseñable en sus actividades económicas (Abrhám, *et al.*,2025): en el año 2023, se calcinaron 89.000 hectáreas (Fundación Aon, 2024). Sin embargo, este tipo de eventos, que son uno de los cubiertos por el Seguro Agrario Combinado (SAC), supusieron en 2023 solo el 0,24 % del total de siniestros registrados por el SAC (en 2022, el 1,5 %) (Agroseguro, 2024). Según el CCS, esto se debe principalmente a que el porcentaje de bosque asegurado es mínimo. De seguir así los niveles de aseguramiento, este riesgo no tendría un impacto significativo en el sector del seguro. Sin embargo, las previsiones apuntan a un aumento de la peligrosidad que, combinado con el incremento en la exposición y en la vulnerabilidad como consecuencia de determinados comportamientos humanos, hace esperar un aumento de los daños por incendios forestales (Hidalgo Pérez, 2020) (Álvarez, *et al.*,2016), lo cual podría acabar teniendo incidencia en el sector.

- **RR13.15 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas frente a inundación.** Excluyendo del análisis al sector agrícola, en España este tipo de pérdidas están aseguradas por el SRE, gestionado por el CCS. La incidencia de las inundaciones es notoria en España y se espera que esta tendencia aumente (CEDEX, 2021). La reciente dana de 2024 ha evidenciado la importancia de la intervención del CCS en este tipo de eventos para paliar sus consecuencias económicas: a fecha 1 de abril de 2025, el CCS había recibido más de 245.000 solicitudes de indemnización, de las cuales ya habían sido pagadas más de un 75 % por un importe acumulado de 2.612.141.619 euros (CCS, 2025). A pesar de que los cálculos actuariales del CCS muestran que el actual Sistema de Riesgos Extraordinarios tendría capacidad para asumir hacia 2050 un aumento de la siniestralidad del 15 al 20 % como consecuencia de los riesgos causados por inundaciones y vientos fuertes, las previsiones apuntan a un aumento de los daños por inundación (especialmente por crecidas relámpago en cuencas de tamaño limitado) (Álvarez, *et al.*,2016), por lo que esto podría tener un impacto en el Sistema, aunque su característica robustez haría que este estuviera, en gran parte, mitigado.

- **RR13.16 Riesgo de aumento del coste de las primas por aumento de la siniestralidad provocada por eventos climáticos extremos.** A pesar de que en España existen mecanismos de mutualización y de asociación público-privada como el SAC o el SRE que hacen que los impactos de estos riesgos sean menores que en países de su entorno, un aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos podría dar lugar a un aumento del coste de las primas (EEA, 2024) (Sanz & Galán, 2020). Esto podría provocar un aumento de la "Brecha del Seguro". La falta de penetración del seguro es un riesgo en

sí para el sector (NGFS, 2020) (Álvarez, *et al.*,2016). Según el EUCRA, solo el 19,5 % de las pérdidas causadas en Europa por eventos climáticos extremos durante el período 1980-2022 estaban aseguradas (EEA, 2024). Para el caso de España, se estima, para el año 2023, una brecha de cobertura frente a catástrofes naturales de aproximadamente un 45 %, cifra que, a pesar de haberse visto reducida frente a años anteriores, conlleva un riesgo de falta de protección bastante elevado (Fundación Aon, 2024). Este porcentaje de desprotección podría aumentar aún más en caso de que las primas se encarecieran (EEA, 2024), lo que incrementaría la vulnerabilidad del sector, debilitándolo.

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) en el sector "Sistema financiero y actividad aseguradora".

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR13.1	Operatividad	Riesgo de daño en infraestructuras financieras por eventos climáticos extremos	
RR13.2	Operatividad	Riesgo de daño en redes de suministros y elementos expuestos de las entidades financieras por eventos climáticos extremos	
RR13.3	Mercado	Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático	RC13.1
RR13.4	Mercado	Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático	RC13.2
RR13.5	Crédito	Riesgo de impago hipotecario por inundación	
RR13.6	Crédito	Riesgo de impago de titulaciones hipotecarias en caso de concentración geográfica en zonas afectadas por eventos climáticos extremos	
RR13.7	Crédito	Riesgo de impago de préstamos concedidos a empresas con actividad perturbada por escenarios de altas temperaturas (caída de la productividad del factor trabajo, disminuyendo ingresos, aumentando mortalidad e incrementando OPEX y CAPEX)	
RR13.8	Crédito	Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez	RC13.3

Sigue en la página 1280

Viene de la página 1279

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo Clave
RR13.9	Liquidez	Riesgo de necesidad inmediata de liquidez por catástrofes causadas por eventos climáticos extremos	
RR13.10	Liquidez	Riesgo de refinanciación por catástrofes causadas por eventos climáticos extremos	
RR13.11	Aseguramiento	Riesgo de aumento de compensaciones por seguros laborales contratados por incremento en la siniestralidad laboral por calor extremo	
RR13.12	Aseguramiento	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima	RC13.4
RR13.13	Aseguramiento	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas por seguros multirriesgo frente a borrascas de alta intensidad	
RR13.14	Aseguramiento	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola y forestal frente a incendios forestales	
RR13.15	Aseguramiento	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas frente a inundación	
RR13.16	Aseguramiento	Riesgo de aumento del coste de las primas por aumento de la siniestralidad provocada por eventos climáticos extremos	

Otro aspecto importante que abordar, aunque se haga de manera somera en este análisis, es el impacto del cambio climático en las **finanzas públicas**. Los riesgos físicos producidos por las variaciones en el clima están suponiendo un aumento visible en los daños económicos, lo cual tiene importantes consecuencias a nivel macroeconómico. Variables como la inversión, el empleo o el PIB sufren un impacto negativo a causa de estos fenómenos (Monasterolo, 2020). La creciente frecuencia de fenómenos climáticos extremos puede tener un efecto adverso en el crecimiento económico y su potencial en aquellos países vulnerables al cambio climático, impactando en el valor de su deuda soberana con un mayor coste de financiación y un peor acceso a los mercados (González Martínez & Núñez Ramos, 2020). El impacto del cambio climático aboca a los gobiernos a aumentar sus déficits (y, por tanto, su deuda pública para financiarlo) debido a menores ingresos fiscales y mayores gastos corrientes. Además, la sostenibilidad de la deuda puede verse

comprometida con el aumento del pago de intereses, bien porque el gobierno se esté endeudando más para refinanciar la deuda existente o porque los tipos de interés estén aumentando debido a una mayor deuda pública, agravando aún más la situación financiera del país. Cabe señalar que, en escenarios en los que se estén llevando a cabo planes de adaptación a nivel gubernamental, esta situación puede verse en parte mitigada (Parrado, *et al.*, 2020). No obstante, el impacto fiscal que suponen tanto los riesgos climáticos agudos como los crónicos sigue siendo muy reseñable. Para el caso español, no se han encontrado estudios específicos que cuantifiquen dicho impacto, pero eventos recientes como la dana de 2024 pueden ser ejemplos que evidencien estos efectos.

4. Riesgos clave

Los riesgos clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). Para la identificación de los riesgos clave del sistema financiero y la actividad aseguradora, los dieciséis riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts & Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector "Sistema financiero y actividad aseguradora" y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos, que son catalogados como "Riesgos Clave" y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR13.3 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático. (RC13.1).
- RR13.4 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático. (RC13.2).
- RR13.8 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez. (RC13.3).
- RR13.12 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima. (RC13.4).

Otro riesgo significativo, no considerado clave, pero que requiere un seguimiento activo es:

- RR13.16 Riesgo de aumento del coste de las primas por aumento de la siniestralidad provocada por eventos climáticos extremos.

A continuación, se describen en detalle los riesgos clave identificados.

4.1. RC13.1 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático

El primer riesgo clave corresponde al **riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático**. Dentro de "activos" se incluyen tanto tangibles (bienes inmobiliarios) como financieros (valores). Se trata de un riesgo muy genérico, contenedor de un gran número de efectos derivados del cambio climático.

Las principales razones para considerar este riesgo clave son la territorial, la económica y la temporal. A nivel geográfico, cualquier zona del territorio nacional puede verse afectada por este riesgo. A nivel económico, se estima un impacto alto. Un ejemplo es la pérdida de valor de las viviendas afectadas por la degradación ecológica del Mar Menor (y por la percepción social de este riesgo) para el período 2016-2021: 4.000M EUR (Lamas Rodríguez, *et al.*,2023). Finalmente, a nivel temporal, el caso de estudio de la Región de Murcia muestra como los impactos ya están ocurriendo. Además, aunque en menor medida, otras razones significativas para caracterizar este riesgo como clave son su potencial para desencadenar efectos en cascada (e influir en el comportamiento de los inversores, afectando al mercado bursátil) y su componente transfronterizo.

La Figura 2 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco y sobre él recaen los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.Este riesgo viene determinado por un número amplio de **peligros climáticos**. Los que tienen una mayor incidencia de cara a la afección al valor de los activos son las inundaciones, tanto fluviales como costeras, así como las precipitaciones intensas y las inundaciones pluviales.

Desde el punto de vista de la **exposición**, el factor clave es el mercado. Los peligros pueden incidir sobre la cartera de las entidades financieras y sus productos a través del impacto vía corrección de precios/reducción del valor de los activos. El mayor o menor grado de exposición vendrá determinado por el número de activos cuyo valor pueda verse afectado por el cambio climático.

En cuanto a la **vulnerabilidad**, se identifican cuatro dimensiones principales: la físico-tecnológica, la económica, la social y la ambiental. Respecto a la **físico-tecnológica**, es clave aquí el nivel de resiliencia de las edificaciones, otras infraestructuras y otros activos tangibles frente al cambio climático. En cuanto a la **económica**, una falta de (o mala) diversificación de carteras puede amplificar el riesgo o reducir el potencial mitigador que tienen este tipo de prácticas financieras. Por otro lado, la generación de burbujas (tanto en el sector inmobiliario como en otros sectores)

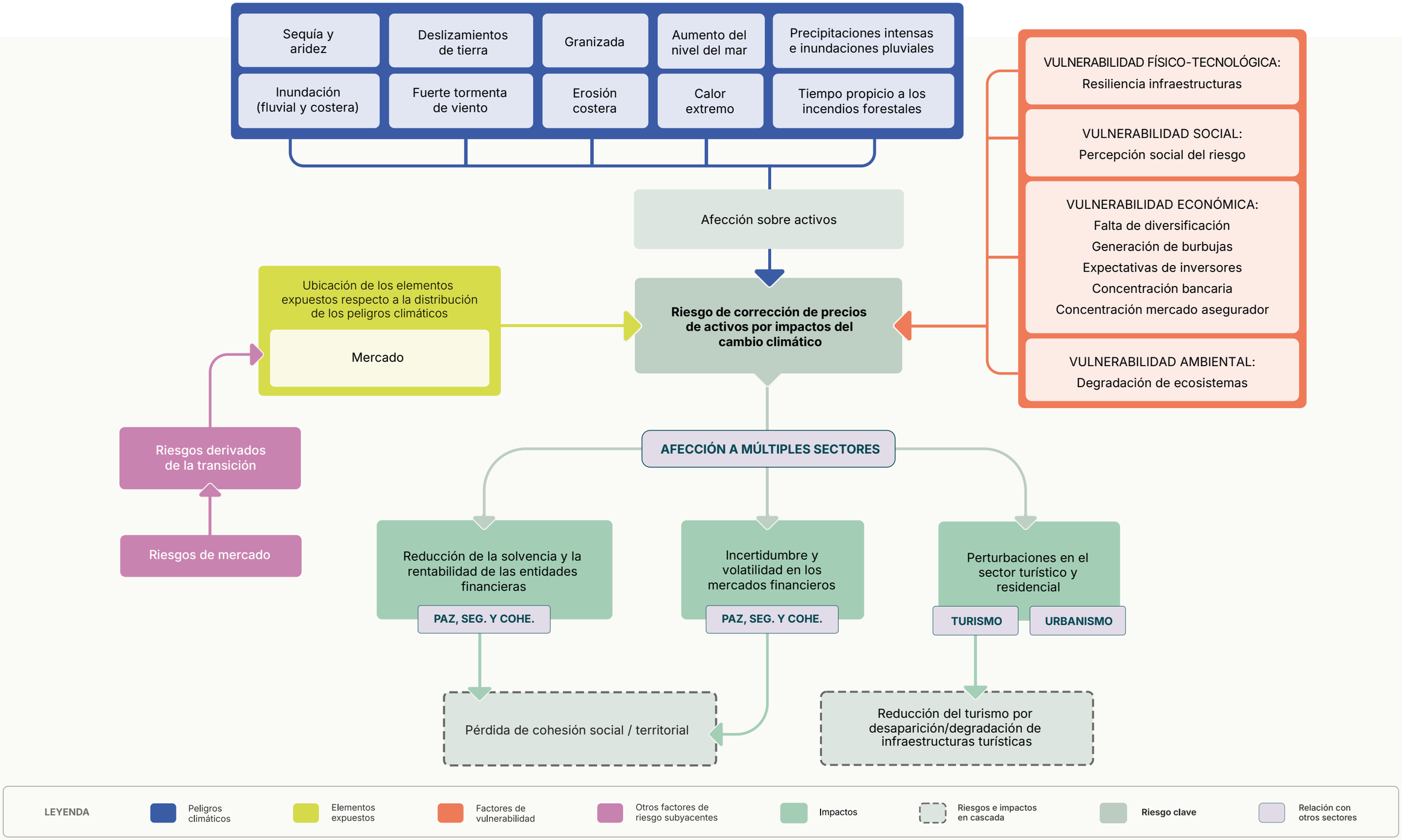


Figura 2. Cadena de impacto del RC13.1 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.

puede tensionar aún más las condiciones del mercado. Además, las expectativas de los inversores pueden suponer un incremento en el impacto del riesgo al darse comportamientos rebaño o efectos en cascada que acaben generando aún mayores efectos sobre los precios de los activos afectados. Finalmente, la concentración en el sector bancario y en el mercado asegurador es un factor de vulnerabilidad, puesto que, aunque inicialmente pueda aportar estabilidad al sistema, si una entidad significativa -dado su tamaño favorecido por el proceso de concentración- se ve fuertemente afectada por este riesgo, pueden producirse importantes perturbaciones en el sistema. En relación con la vulnerabilidad **social**, entra en juego la percepción social del riesgo climático, que puede determinar conductas financieras que amplifiquen el impacto del mismo, Un ejemplo sería el observado en el caso del Mar Menor, como señala el estudio de Lamas Rodríguez *et al.*, (2023), donde la caída del valor de las viviendas se asocia directamente con la percepción social del deterioro ecológico de la laguna. Aunque no se haya producido un desastre reciente, si crece la percepción de que vivir o invertir en la zona es arriesgado, se pueden producir efectos como caída de los precios o desinversión. Esto entronca con la vulnerabilidad **ambiental**, donde cabe destacar la degradación de ecosistemas, la cual tiene un impacto directo sobre el valor de los activos (amplificándose gracias a la psicología inversora influida por la percepción social del riesgo de degradación) como muestra el estudio de Lamas Rodríguez *et al.*, (2023) previamente citado.

Como **factores subyacentes** de este riesgo destacan los "eventos de cisne negro" y los riesgos de transición, en concreto, los riesgos de mercado, es decir, aquellos que supongan cambios en las preferencias de mercado.

Respecto a los impactos generados por este riesgo, cabe señalar que la afección es multisectorial. El sistema financiero tiene fuertes interdependencias con la mayoría de los sectores socioeconómicos, y cualquier perturbación que ocurra en su seno tendrá importantes consecuencias en las otras ramas del sistema económico. Sin embargo, dada la complejidad de reflejar todas estas interdependencias y efectos en cascada, se resaltan aquellas afecciones que han podido ser identificadas en el AMC global. Por tanto, los tres **impactos** principales que se identifican son:

- **Reducción de la solvencia y la rentabilidad de las entidades financieras:** una reducción en el valor de los activos que tengan estas entidades en sus carteras podría afectar a su viabilidad. Esto afectaría directamente a su clientela y podría suponer impactos en cascada que acabarían generando una afección socioeconómica más general provocada, entre otras, por la quiebra de bancos y entidades financieras. La cohesión social se vería resentida.

- **Incertidumbre y volatilidad en los mercados financieros:** cambios en los valores de los activos podrían generar movimientos bruscos en los mercados financieros que acabaran

provocando volatilidad e incertidumbre, acarreando consecuencias para la estabilidad del sistema económico. Esto podría dañar la cohesión social.

- **Perturbaciones en el sector turístico y residencial:** la pérdida de valor de activos inmobiliarios tendría importantes repercusiones para estos sectores, especialmente en relación con aquella infraestructura que se encuentre en línea de costa o en el cauce de los ríos y pueda verse afectada por la erosión y las inundaciones.

La Ficha 1 permite ahondar más en el análisis y en las perspectivas de este riesgo clave.

Ficha 1. Análisis del RC13.1 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial si inferimos del Horizonte Actual	Sustancial si inferimos del Horizonte Actual	Sustancial si inferimos del Horizonte Actual
	El caso de estudio de la Región de Murcia (Lamas Rodríguez, *et al.*, 2023) muestra que, aunque se traten de impactos localizados, estos son ya reseñables en la actualidad. Caso Mar Menor: pérdidas de valor de 4.000M EUR para el período 2016-2021.	Faltan datos. No se han encontrado estudios que integren proyecciones a futuro que analicen las implicaciones de los diferentes escenarios climáticos. No obstante, se puede considerar una severidad de tipo Sustancial si inferimos del Horizonte Actual.	Faltan datos. No se han encontrado estudios que integren proyecciones a futuro que analicen las implicaciones de los diferentes escenarios climáticos. No obstante, se puede considerar una severidad de tipo Sustancial si inferimos del Horizonte Actual.	Faltan datos. No se han encontrado estudios que integren proyecciones a futuro que analicen las implicaciones de los diferentes escenarios climáticos. No obstante, se puede considerar una severidad de tipo Sustancial si inferimos del Horizonte Actual.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆			
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Medio			
	El estudio de Lamas Rodríguez, *et al.*, (2023) podría replicarse para otros casos. Sin embargo, no hay demasiadas bases de datos al respecto y la cobertura del territorio nacional es parcial.	No corresponde analizar el nivel de confianza, puesto que faltan fuentes que analicen el impacto del riesgo a futuro.	No corresponde analizar el nivel de confianza, puesto que faltan fuentes que analicen el impacto del riesgo a futuro.	No corresponde analizar el nivel de confianza, puesto que faltan fuentes que analicen el impacto del riesgo a futuro.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	Afectan un gran número de variables climáticas, pero con especial incidencia las inundaciones, tanto fluviales como costeras, así como las precipitaciones intensas y las inundaciones pluviales.	• Mercado – Activos La distribución geográfica de este riesgo es nacional, pero con mayor impacto sobre activos cuya localización esté vinculada al litoral o al cauce de los ríos.	• Resiliencia infraestructuras. • Percepción social del riesgo. • Falta de diversificación. • Generación de burbujas. • Expectativas de inversores. • Concentración bancaria. • Concentración mercado asegurador. • Degradación de ecosistemas.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La materialización de este riesgo puede producirse no solo por el impacto del cambio climático que se produzca en España, sino por el que se produzca en terceros países, afectando a los tenedores de activos localizados en dichos territorios. Este aspecto es abordado por las aseguradoras privadas en sus ejercicios de modelización de riesgos catastróficos (MAPFRE, 2022), así como por las entidades bancarias (Banco Santander, 2023). Cabe señalar que, dada su importante presencia en la región, las entidades financieras y aseguradoras españolas son especialmente vulnerables a los impactos del cambio climático que se produzcan en Latinoamérica. Algunos bancos, como el Santander, también son especialmente sensibles a eventos climáticos que se produzcan en Norteamérica (Banco Santander, 2023).

Sigue en la página 1288

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Territoriales	A nivel espacial, cualquier zona del territorio nacional puede verse afectada por este riesgo.
Sociales	En principio, no habría concentración de riesgo y afectaría por igual.
Maladaptación	Si, en el marco de su política de mitigación de riesgos, los inversores, las entidades financieras y las aseguradoras se retiran de ciertos sectores/zonas afectadas, puede generarse una desprotección (tanto a nivel de cobertura como de acceso a recursos financieros) que provoque una mayor incidencia de los impactos futuros del cambio climático en dichos sectores/zonas, haciéndolos más vulnerables y con menor capacidad de adaptación.
Género	No se han encontrado estudios específicos.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	No existen umbrales específicos, pero podrían emplearse, como proxy, ratios financieras generales de solvencia (CET1) y rentabilidad (ROE, ROA).
Lock-in/Bloqueo	Puede ser preocupante la inversión que se ha realizado en activos inmobiliarios, con fines residenciales y turísticos, a lo largo de la costa española, la cual es una zona especialmente expuesta al cambio climático (MITECO, 2016). Una variación en el valor de estos activos puede lastrar el desarrollo futuro de los sectores inmobiliario y turístico, así como su capacidad adaptativa, dada la dificultad de revertir la considerable inversión realizada en esas zonas.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	En general, es un riesgo identificado, pero que cuenta con escasas medidas específicas de respuesta, como ocurre para la mayoría de los riesgos financieros asociados al cambio climático. A nivel nacional, el principal marco estratégico es el PNACC, que busca fortalecer la resiliencia del sector mediante la evaluación sistemática del riesgo físico (integrándolo en las herramientas de análisis financiero – stress test y modelos de inversión), el refuerzo del papel del seguro como herramienta de adaptación, la transparencia en la exposición a riesgos (recomendaciones TCFD), la mejora en el acceso a los datos y las proyecciones climáticas, o una mayor coordinación institucional y alineación con marcos europeos e internacionales (MITECO, 2020). También destaca la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, que tiene por objetivo evaluar los riesgos asociados al cambio climático para el sistema financiero español, así como examinar el grado de cumplimiento de las metas del Acuerdo de París. Esta ley establece obligaciones de transparencia tanto para grandes empresas y entidades del sistema financiero como para los propios supervisores. A nivel europeo, existen mecanismos de supervisión y prevención que buscan evitar insolvencias, como la normativa de requisitos de capital (UE/Basilea). También se realizan pruebas de resistencia/stress test (ahora también climáticos) por parte del Banco Central Europeo (BCE) y de la Autoridad Bancaria Europea (EBA) que evalúan la capacidad de las entidades financieras para resistir escenarios adversos. Además, existen mecanismos de alerta temprana que permiten detectar riesgos sistémicos que puedan poner en peligro el sistema financiero.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Por otro lado, el Reglamento (UE) 2019/2088 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de noviembre de 2019 sobre la divulgación de información relativa a la sostenibilidad en el sector de los servicios financieros (SFDR) establece una serie de requisitos sobre divulgación de finanzas sostenibles y busca reducir la exposición a este tipo de riesgos. Además, la Autoridad Europea de Seguros y Pensiones de Jubilación (EIOPA) ha publicado numerosas guías sobre cómo las compañías de seguros deben incorporar los riesgos de cambio climático en sus procesos actuales, como la "Opinion on the supervision of the use of climate change risk scenarios in ORSA" de abril de 2021 (MAPFRE, 2022). Desde el punto de vista privado, algunos ejemplos de iniciativas en el sector son el Informe de Evaluación de Impacto Financiero del Grupo Sanitas, que analiza el impacto del cambio climático en sus activos y operaciones, destacando su compromiso con la sostenibilidad y la gestión de riesgos climáticos en el sector salud, o los Informes TCFD que publica anualmente MAPFRE en los que se detalla, en el marco de las recomendaciones de la TCFD, la gestión de la compañía en relación con el cambio climático, analizando sus riesgos y oportunidades y su integración en el negocio y las actividades de la compañía. Por otro lado, entidades bancarias como CaixaBank, Banco Santander o BBVA realizan análisis de materialidad de los riesgos climáticos, lo que les permite integrar factores climáticos y medioambientales en su ciclo de gestión del riesgo (CaixaBank, 2023) (Banco Santander, 2023) (BBVA, 2023). Además, estas mismas entidades están incorporando factores de sostenibilidad en la gestión de sus activos, integrando criterios ESG (ambientales, sociales y de gobernanza) en sus decisiones de inversión, contribuyendo a una valoración más precisa de los activos y fomentando inversiones alineadas con la sostenibilidad. En el sector asegurador también se han implementado políticas para la integración de riesgos de sostenibilidad (MAPFRE, 2023), así como otras centradas en el análisis de materialidad de los riesgos climáticos (BBVA, 2023). Todas las iniciativas mencionadas son acciones alineadas con el marco del PNACC, el cual aboga por una planificación informada en el sector a través de, por ejemplo, modelos específicos que combinen el riesgo y los parámetros financieros para recrear eventos históricos y estimar posibles pérdidas futuras, así como por la integración de criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones (MITECO, 2020). El PNACC aboga por la consolidación de marcos de colaboración y coordinación estables en materia de adaptación al cambio climático entre instituciones públicas, entidades privadas, instituciones académicas y otros agentes clave con el fin de fomentar, entre otros, el intercambio de información y conocimiento que permita entender la evolución del papel del sistema financiero en la adaptación (MITECO, 2020). Finalmente, cabe señalar que cualquier medida que se lleve a cabo en otros sectores que incremente la resiliencia climática del sistema (p. ej., que incida sobre la resiliencia de las infraestructuras o de los sistemas productivos) también beneficiará al sistema financiero y la actividad aseguradora, aumentando su capacidad resiliente.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	En el caso de España, la gobernanza de gestión de este tipo de riesgos se hace a nivel estatal y bajo las directrices de la Unión Europea. Las principales instituciones de gobernanza en este caso son el Banco de España (el cual forma parte de la iniciativa NGFS y supervisa el sistema bancario en coordinación con la EBA), la CNMV (que aplica la SFDR, que obliga a los fondos de inversión y a las aseguradoras a informar, entre otros aspectos, sobre su exposición a activos en riesgo de depreciación climática (UE, 2019)), la DGSFP (que aplica las directrices de la EIOPA en materia de evaluación de riesgos climáticos), la AMCESFI (que aglutina a las tres instituciones anteriores) y, en cuanto a la coordinación de la adaptación al cambio climático, el MITECO a través del PNACC. El sistema financiero y la actividad aseguradora están integrados, en gran parte, por entidades de carácter privado, por lo que la inclusión del sector privado es esencial de cara a gestionar el riesgo y sus medidas de adaptación.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación que se están llevando a cabo son aún muy incipientes por lo que sus beneficios son todavía difíciles de estimar. Se espera que los stress test climáticos den su fruto a la hora de detectar posibles focos de inestabilidad financiera relacionados con el clima. Por otro lado, también se espera que la integración de los riesgos climáticos por parte de las entidades en sus modelos de gestión de riesgos permita una mejor toma de decisiones y una mayor preparación para hacer frente a eventuales shocks climáticos desde el punto de vista de la solvencia, la rentabilidad y la liquidez. En último término, todas aquellas medidas adoptadas para reducir el riesgo climático en infraestructuras y otros activos tangibles (y, en general, para aumentar la resiliencia del sistema) influirán positivamente en la adaptación del sistema financiero y la actividad aseguradora.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Neutro, ya que, en principio, no tiene por qué afectar ni negativa ni positivamente. No obstante, puede ocurrir que las inversiones para la transición se vean tensionadas por la incertidumbre financiera causada por los cambios en el clima. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Negativo, ante la potencial corrección adicional de precios de activos causada por la transición energética (riesgos de transición) en sectores y empresas con alta exposición a combustibles fósiles o tecnologías obsoletas.
Déficits de información	• Faltan más estudios específicos para el caso de España que cubran, aparte del mercado inmobiliario, otro tipo de activos, como los financieros. • Se echa en falta un mayor alcance espacial en los estudios para el caso español. • Faltan estudios sobre la efectividad de las medidas de adaptación que se están aplicando en el sector.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.2. RC13.2 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático

El segundo riesgo clave es el **riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático**. Este riesgo está vinculado con una menor demanda de crédito nuevo o mayores restricciones de oferta de crédito (EEA, 2024).

Las principales razones para considerar este riesgo clave son la territorial, la temporal y la potencialidad de desencadenar efectos en cascada. A nivel geográfico, cualquier zona del territorio nacional puede verse afectada por este riesgo. A nivel temporal, los impactos ya están ocurriendo, como prueban AMCESFI (2023), Álvarez-Román *et al.* (2024) y Broto & Hubert (2024) en sus análisis sobre el efecto de fenómenos como las sequías y las olas de calor, los incendios y la desertificación en el mercado de crédito español. Finalmente, a nivel de efectos en cascada, la materialización de este riesgo puede acarrear un empeoramiento del acceso al crédito para otros sectores (EEA, 2024). Además, aunque en menor medida, otra razón significativa es el factor económico, ya que, de producirse, este riesgo implicaría importantes costes para el sector.

La **Figura 3** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco y sobre él recaen los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

Con respecto a los **peligros climáticos**, este riesgo viene determinado tanto por eventos climáticos extremos como por fenómenos climáticos de progresión más lenta. El informe de AMCESFI (2023) cita las sequías y las olas de calor; el estudio de Álvarez-Román *et al.* (2024), los incendios; y el análisis de Broto & Hubert (2024), la desertificación.

Desde el punto de vista de la **exposición**, el factor clave es el mercado en general. El mayor o menor grado de exposición vendrá determinado por el número de activos, operaciones y sistemas financieros que se vean afectados por el fenómeno climático en cuestión.

En cuanto a la **vulnerabilidad**, se identifican las cinco dimensiones: la físico-tecnológica, la económica, la social, la ambiental y la de gobernanza. Respecto a la **físico-tecnológica**, la resiliencia de

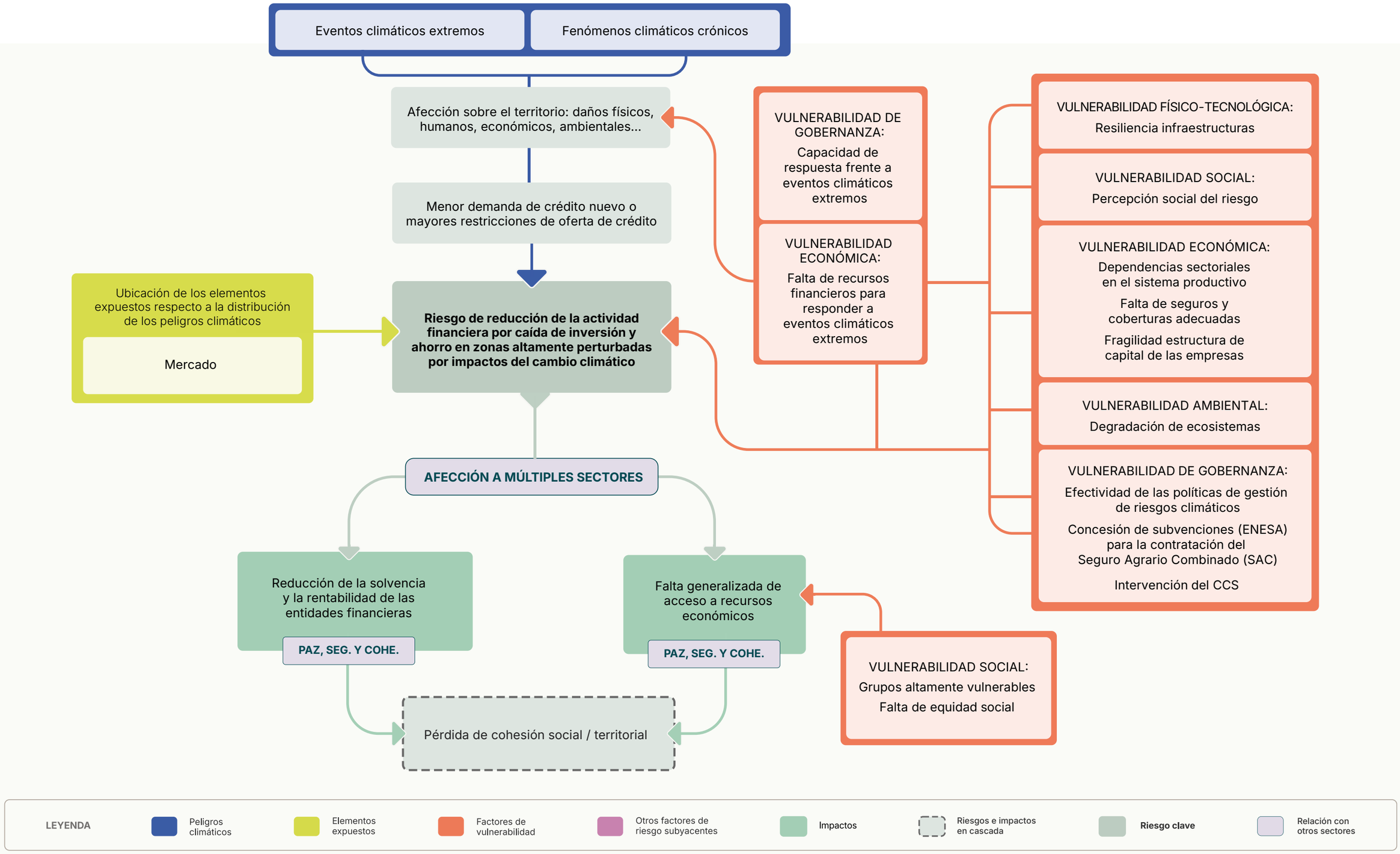


Figura 3. Cadena de impacto del RC13.2 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático.

las edificaciones, otras infraestructuras y otros activos tangibles es clave para lograr en primera instancia moderar el impacto del peligro climático. En cuanto a la **económica**, destacan, por un lado, las dependencias sectoriales existentes en el sistema productivo: en caso de que el evento climático se produzca en una zona relevante para sectores protagonistas en el tejido productivo español –como pueden ser el turismo, el sector servicios, la energía, la construcción o el sector inmobiliario (INE, 2024)–, esto agravaría las consecuencias del riesgo. Por otro lado, partir de una situación inicial de falta de recursos financieros para responder a los impactos del cambio climático incrementa la vulnerabilidad, puesto que reduce la capacidad de respuesta; además, esta escasez de recursos financieros puede ser, a su vez, consecuencia de impactos climáticos previos, lo que refuerza un ciclo de riesgo creciente. Por otra parte, factores como una falta de seguros y de coberturas adecuadas o una frágil estructura de capital de las empresas hacen que el potencial impacto de este riesgo se acreciente. En relación con la vulnerabilidad **social**, entra en juego la percepción social del riesgo climático, la cual entronca con la falta de seguros y de coberturas adecuadas antes mencionada: una infraestimación del riesgo puede llevar a no asegurarse. También, cabe señalar la existencia de grupos altamente vulnerables (por razón de renta, género, edad, raza o etnia...) o la falta de equidad social, factores que agudizan el posible impacto socioeconómico del riesgo. En cuanto a la vulnerabilidad **ambiental**, unos ecosistemas degradados hacen que la incidencia del riesgo se agrave. Finalmente, respecto a la vulnerabilidad **de gobernanza**, cabe señalar que un posible retraso en la intervención del CCS o en la concesión de subvenciones por parte de ENESA para la contratación del SAC, una falta de efectividad de las políticas de gestión de riesgos climáticos o una baja capacidad de respuesta frente a estos eventos son aspectos que amplificarían el impacto del riesgo.

Como **factores subyacentes** de este riesgo destacan los "eventos de cisne negro", los cuales pueden suponer una importante perturbación sistémica inesperada con consecuencias devastadoras.

Respecto a los impactos generados por este riesgo, cabe señalar que la afección es multisectorial. El sistema financiero tiene fuertes interdependencias con la mayoría de los sectores socioeconómicos, y cualquier perturbación que ocurra en su seno tendrá importantes consecuencias en las otras ramas del sistema económico. Sin embargo, dada la complejidad de reflejar todas estas interdependencias y efectos en cascada, se resaltan aquellas afecciones que han podido ser identificadas en el AMC global. Por tanto, los dos **impactos** principales que se identifican son:

- Reducción de la solvencia y la rentabilidad de las entidades financieras: una caída de la actividad financiera general a causa de la ocurrencia de un evento climático extremo podría afectar a su viabilidad. Esto afectaría directamente a su clientela y podría suponer impactos en cascada que acabaran generando una afección socioeconómica más general provocada, entre otras, por la quiebra de bancos y entidades financieras. La cohesión social se vería resentida.

- Falta generalizada de acceso a recursos económicos: la reducción de la actividad financiera puede implicar restricciones de liquidez o de acceso al crédito, lo cual puede acabar teniendo consecuencias devastadoras para el conjunto de los sistemas socioeconómicos. Si no existen planes de contingencia puestos en marcha por las administraciones, la cohesión social podría verse resentida.

La Ficha 2 permite ahondar más en el análisis y en las perspectivas de este riesgo clave.

Ficha 2. Análisis del RC13.2 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial si inferimos del Horizonte Actual	Sustancial si inferimos del Horizonte Actual	Sustancial si inferimos del Horizonte Actual
	Estudios realizados por el Banco de España muestran evidencias de los impactos que está produciendo este riesgo en el presente (Álvarez-Román, *et al.*, 2024) (Broto & Hubert, 2024). No obstante, son impactos localizados, puesto que dependen del sector y de la localización geográfica.	Faltan datos. Los estudios encontrados se basan en datos históricos y no incluyen proyecciones futuras que analicen las implicaciones de los diferentes escenarios climáticos. No obstante, se puede considerar una severidad de tipo Sustancial si inferimos del Horizonte Actual.	Faltan datos. Los estudios encontrados se basan en datos históricos y no incluyen proyecciones futuras que analicen las implicaciones de los diferentes escenarios climáticos. No obstante, se puede considerar una severidad de tipo Sustancial si inferimos del Horizonte Actual.	Faltan datos. Los estudios encontrados se basan en datos históricos y no incluyen proyecciones futuras que analicen las implicaciones de los diferentes escenarios climáticos. No obstante, se puede considerar una severidad de tipo Sustancial si inferimos del Horizonte Actual.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza: · Calidad de las evidencias · Consenso científico	Medio ◆◆ · Media · Medio			
	Faltan publicaciones académicas. En su mayoría, las fuentes disponibles corresponden a publicaciones oficiales con metodologías de aplicación limitada. Faltan más fuentes de consenso.	No corresponde analizar el nivel de confianza, puesto que faltan fuentes que analicen el impacto del riesgo a futuro.	No corresponde analizar el nivel de confianza, puesto que faltan fuentes que analicen el impacto del riesgo a futuro.	No corresponde analizar el nivel de confianza, puesto que faltan fuentes que analicen el impacto del riesgo a futuro.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Eventos climáticos extremos. • Fenómenos climáticos crónicos.	• Mercado. La distribución geográfica de este riesgo es nacional.	• Resiliencia infraestructuras. • Percepción social del riesgo. • Grupos altamente vulnerables. • Falta de equidad social. • Dependencias sectoriales en el sistema productivo. • Falta de recursos financieros para responder a eventos climáticos extremos. • Falta de seguros y coberturas adecuadas. • Fragilidad estructura de capital de las empresas. • Degradación de ecosistemas. • Intervención del CCS. • Concesión de subvenciones (ENESA) para la contratación del SAC. • Capacidad de respuesta frente a eventos climáticos extremos. • Efectividad de las políticas de gestión de riesgos climáticos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Aspecto de especial relevancia. La materialización de este riesgo puede producirse por eventos climáticos extremos y fenómenos climáticos crónicos que se den en España, pero también que puedan darse en terceros países. Cabe señalar que, dada su importante presencia en la región, las entidades financieras y aseguradoras españolas son especialmente vulnerables a los impactos del cambio climático que se produzcan en Latinoamérica. Además, es también reseñable el impacto generado en caso de ocurrencia simultánea de fenómenos adversos, como las olas de calor que se produjeron en el verano de 2022 en diversas partes del hemisferio norte y que afectaron a las entidades españolas (AMCESFI, 2023).
Territoriales	A nivel espacial, cualquier zona del territorio nacional puede verse afectada por este riesgo.
Sociales	En principio, afectará en mayor medida a aquellos colectivos ya de por sí vulnerables económicamente.
Maladaptación	La caída en la inversión, unida a la necesidad de desviar, en el corto plazo, recursos para la recuperación frente al evento climático extremo acaecido, puede provocar un descenso en la inversión en infraestructuras resilientes y en sectores sostenibles, lo que aumenta la exposición y la vulnerabilidad futuras.
Género	No se han encontrado estudios específicos.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	No existen umbrales específicos, pero podrían emplearse, como proxy, ratios financieras generales de rentabilidad (ROE, ROA).
Lock-in/Bloqueo	A pesar del esfuerzo reciente en mejorar la resiliencia climática de las infraestructuras españolas, aún queda camino por recorrer para lograr una mayor capacidad adaptativa que permita hacer frente a eventos climáticos extremos, como los acaecidos recientemente en el país (inundaciones severas, incendios forestales, sequías prolongadas, temperaturas extremas...), y a los fenómenos climáticos crónicos que sufre el territorio. Este periodo de transición y ajuste, aunque necesario, puede suponer un problema para responder adecuadamente a los posibles impactos causados por dichos fenómenos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	En general, es un riesgo identificado, pero que cuenta con escasas medidas específicas de respuesta, como ocurre para la mayoría de los riesgos financieros asociados al cambio climático. A nivel nacional, el principal marco estratégico es el PNACC, que busca fortalecer la resiliencia del sector mediante la evaluación sistemática del riesgo físico (integrándolo en las herramientas de análisis financiero – stress test y modelos de inversión), el refuerzo del papel del seguro como herramienta de adaptación, la transparencia en la exposición a riesgos (recomendaciones TCFD), la mejora en el acceso a los datos y las proyecciones climáticas, o una mayor coordinación institucional y alineación con marcos europeos e internacionales (MITECO, 2020). No obstante, existen planes de gestión del riesgo de catástrofes más generales que pueden ayudar a mitigar estos riesgos financieros (ver Marco eficaz de gestión del riesgo de catástrofes en España) (MITECO, 2021). Las entidades financieras, por su parte, pueden establecer fondos de contingencia y capital como medida de cobertura ante estos shocks. Además, existen numerosas iniciativas por parte de entidades bancarias como CaixaBank, Banco Santander o BBVA que tienen por objetivo integrar los riesgos climáticos en los modelos de gestión de riesgo (CaixaBank, 2023) (Banco Santander, 2023) (BBVA, 2023). Estas acciones están alineadas con el marco del PNACC, el cual aboga por una planificación informada en el sector a través de modelos específicos que combinen el riesgo y los parámetros financieros para recrear eventos históricos y estimar posibles pérdidas futuras (MITECO, 2020). El PNACC aboga por la consolidación de marcos de colaboración y coordinación estables en materia de adaptación al cambio climático entre instituciones públicas, entidades privadas, instituciones académicas y otros agentes clave con el fin de fomentar, entre otros, el intercambio de información y conocimiento que permita entender la evolución del papel del sistema financiero en la adaptación (MITECO, 2020). Finalmente, cabe señalar que cualquier medida que se lleve a cabo en otros sectores que incremente la resiliencia climática del sistema (p. ej., que incida sobre la resiliencia de las infraestructuras o de los sistemas productivos) también beneficiará al sistema financiero y la actividad aseguradora, aumentando su capacidad resiliente.
Gobernanza de gestión del riesgo	Las competencias para la gestión de este tipo de riesgos suelen recaer sobre el Gobierno central, el cual puede desarrollar planes, protocolos o programas que tengan como fin mitigar los efectos de este riesgo. No obstante, las Comunidades Autónomas también pueden desarrollar alguna iniciativa con el mismo objetivo, pero carácter más local. Por otro lado, el sistema financiero y la actividad aseguradora están integrados, en gran parte, por entidades de carácter privado, por lo que la inclusión del sector privado es esencial de cara a gestionar el riesgo y sus medidas de adaptación. Las entidades financieras y aseguradoras privadas tienen una importante capacidad de acción para la mitigación de este riesgo a través de iniciativas, como las mencionadas, que puedan llevar a cabo en el seno de sus organizaciones.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	No se han identificado planes o medidas de adaptación concretas por lo que no corresponde analizar sus beneficios. No obstante, cabe señalar que todas aquellas medidas adoptadas para reducir el riesgo climático en infraestructuras y otros activos tangibles (y, en general, para aumentar la resiliencia del sistema) influirán positivamente en la adaptación del sistema financiero y la actividad aseguradora.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • Neutro, ya que, en principio, no tiene por qué afectar ni negativa ni positivamente. No obstante, podría ocurrir que la reducción de la actividad general tras una catástrofe climática acarree una reducción en las emisiones, reforzada por la falta de acceso a financiación que pueden sufrir las entidades para continuar con sus actividades. También, podría ocurrir que este contexto de incertidumbre climática supusiera una mayor aversión al riesgo por parte de las entidades financieras, reduciendo su financiación tanto a empresas contaminantes como a proyectos verdes y empresas en transición. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Neutro, ya que, en principio, no tiene por qué afectar ni negativa ni positivamente. No obstante, la descarbonización limitaría el incremento futuro de la ocurrencia de los eventos climáticos extremos, reduciendo la materialización de este riesgo.
Déficits de información	• Faltan más estudios específicos para el caso de España que cubran, aparte de la desertificación (Broto & Hubert, 2024) y de los incendios (Álvarez-Román, *et al.*, 2024), otro tipo de peligros climáticos. • Falta información sobre la existencia de posibles medidas de adaptación que se estén aplicando en el sector.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.3. RC13.3 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez

El tercer riesgo clave es el **riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez**. La sequía es uno de los fenómenos climáticos que mayor peligro presenta para España. Además, las proyecciones apuntan hacia una creciente aridez, que aumenta el riesgo de desertificación (Sanz & Galán, 2020). Este aumento de la peligrosidad, en combinación con los componentes de exposición y vulnerabilidad, hace que este riesgo sea especialmente reseñable.

Las principales razones para considerar este riesgo clave son la territorial y la potencialidad de desencadenar efectos en cascada. A nivel geográfico, la sequía y la aridez afectarán a gran parte de la Península, especialmente al centro, sur y Levante; y a las zonas insulares (MITECO, 2024) (MITECO, 2024). A nivel de efectos en cascada, la materialización de este riesgo puede suponer que el sector agrícola y otros sectores dependientes del agua vean disminuido su acceso al crédito. Además, aunque en menor medida, otras razones significativas son el factor distributivo, ya que este riesgo podría tener especial incidencia en zonas vulnerables y expuestas a la despoblación, y el factor económico: un episodio de sequía y ola de calor en España, siempre que esté acotado en el tiempo, no se espera que genere estrés financiero significativo, pero sí puede provocar un impacto moderado en la rentabilidad y solvencia del sector bancario español (AMCESFI, 2023).

La **Figura 4** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco y sobre él recaen los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

Con respecto a los **peligros climáticos**, este riesgo viene determinado por la sequía y la aridez. De acuerdo con los escenarios climáticos disponibles, así como con los estudios desarrollados sobre el comportamiento futuro de las sequías (Rossi, *et al.*,2023) (CEDEX, 2017), se prevé un incremento de la escasez de agua en España en las próximas décadas.

Desde el punto de vista de la **exposición**, el factor clave es el crédito. El mayor o menor grado de exposición vendrá determinado por el número de obligaciones financieras, en este caso, préstamos, que puedan resultar impagados a causa de la sequía o la aridez.

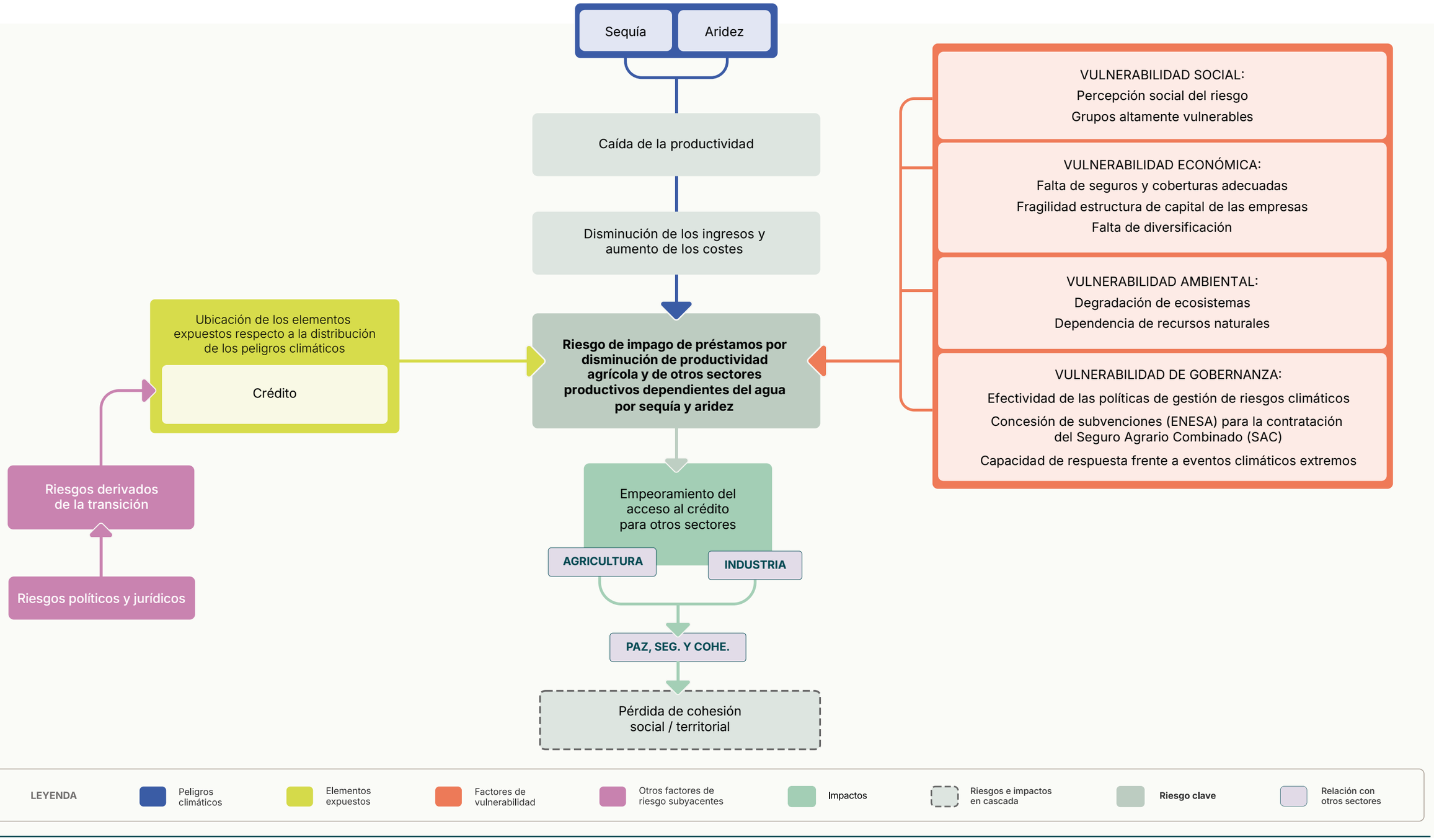


Figura 4. Cadena de impacto del RC13.3 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez.

En cuanto a la **vulnerabilidad**, se identifican cuatro dimensiones principales: la económica, la social, la ambiental y la de gobernanza. Respecto a la **económica**, destacan como factores de vulnerabilidad, por un lado, la falta de (o mala) diversificación, que, en el caso de la actividad agrícola, puede corresponderse con un menor abanico de cultivos en cartera, puesto que algunos son más sensibles a la sequía que otros, siendo el girasol, el almendro y el olivo los más vulnerables (Crédito y Caución, 2023), o, en el caso de la industria, con una excesiva dependencia del agua en las actividades productivas, lo que aplica a industrias como la agroalimentaria (conservas, vino, cerveza, mataderos, etc.), la papelera, la química, la farmacéutica o la textil. Por otro lado, la falta de seguros y de coberturas adecuadas –la contratación del SAC para el caso de la agricultura o de otros seguros para el resto de las industrias productivas dependientes del agua– acrecienta notoriamente el impacto de este riesgo. Además, una estructura de capital frágil hace que las empresas partan de una situación ya vulnerable de cara a hacer frente a este peligro. En relación con la vulnerabilidad **social**, entra en juego la percepción social del riesgo climático, la cual entronca con la falta de seguros y de coberturas adecuadas antes mencionada: una infraestimación del riesgo puede llevar a no asegurarse (Cabeza-Ramírez, *et al.*, 2024). Asimismo, cabe señalar la existencia de desigualdades territoriales y de grupos altamente vulnerables (por razón de renta, género, edad, raza o etnia...) o la falta de equidad social, lo cual hace más agudo el posible impacto socioeconómico del riesgo. En cuanto a la vulnerabilidad **ambiental**, es importante destacar la degradación de ecosistemas y la dependencia de recursos naturales, que, en este caso, es muy evidente al ser el agua el determinante inicial de este riesgo. Finalmente, respecto a la vulnerabilidad **de gobernanza**, son factores de vulnerabilidad una falta de efectividad de las políticas de gestión de riesgos climáticos, una baja capacidad de respuesta frente a estos eventos o un retraso en la concesión de subvenciones por parte de ENESA para la contratación del Seguro Agrario Combinado (SAC).

Como **factores subyacentes** de este riesgo destacan los "eventos de cisne negro" y los riesgos de transición, especialmente aquellos que impliquen cambios en políticas y regulaciones climáticas, así como cambios en los subsidios o incentivos que promuevan prácticas que contribuyan tanto a la mitigación como a la adaptación climática (riesgos políticos y jurídicos).

El **impacto** principal que se identifica es:

- **Empeoramiento del acceso al crédito para otros sectores:** un aumento del impago de préstamos en el sector agrícola y en otros sectores productivos dependientes del agua puede llevar a las entidades financieras a endurecer las condiciones de crédito, lo que podría condicionar el acceso a este por parte de empresas de estos sectores que, en principio, no se hubieran visto afectadas directamente por la sequía o la aridez. Esto, en última instancia, podría resentir la cohesión social.

La Ficha 3 permite ahondar más en el análisis y en las perspectivas de este riesgo clave.

Ficha 3. Análisis del RC13.3 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Limitada	Limitada	Sustancial	Sustancial
	El estudio de la AMCESFI muestra que los impactos negativos en la productividad no tienen por qué generar estrés financiero significativo, aunque sí pueden provocar un impacto moderado en la rentabilidad y solvencia bancaria (AMCESFI, 2023).	No hay datos específicos sobre el impacto de este riesgo en el sector bancario. Sin embargo, se puede inferir que, a corto plazo, será bajo debido a la cobertura que ofrecen los seguros agrarios, que previenen gran parte del riesgo de crédito en ese sector, aunque esto esté implicando una transferencia de riesgos del sector financiero al asegurador.	No hay datos específicos sobre el impacto de este riesgo en el sector bancario. Sin embargo, la sequía es (y será en el futuro) uno de los principales desafíos climáticos de nuestro país (Rossi, *et al.*, 2023) (CEDEX, 2017) por lo que puede inferirse un impacto moderado de este riesgo en el caso de un escenario climático más adverso pese a la existencia de los seguros agrarios.	No hay datos específicos sobre el impacto de este riesgo en el sector bancario. Sin embargo, dadas las proyecciones que apuntan a una progresiva reducción de los recursos hídricos en España (Amblar Francés, *et al.*, 2017), que afecta especialmente al sector agrícola, en el escenario climático más desfavorable se puede inferir un impacto moderado de este riesgo pese a la existencia de los seguros agrarios.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Bajo ◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Medio	· Baja · Bajo	· Baja · Bajo	· Baja · Bajo
	Faltan publicaciones académicas. En su mayoría, las fuentes disponibles corresponden a publicaciones oficiales con metodologías de aplicación limitada. Faltan más fuentes de consenso.	Estimaciones cualitativas (criterio experto), faltan estudios con metodologías cuantitativas robustas. En principio, fuentes en acuerdo, pero faltan bases de datos específicas del sector financiero.	Estimaciones cualitativas (criterio experto), faltan estudios con metodologías cuantitativas robustas. En principio, fuentes en acuerdo, pero faltan bases de datos específicas del sector financiero.	Estimaciones cualitativas (criterio experto), faltan estudios con metodologías cuantitativas robustas. En principio, fuentes en acuerdo, pero faltan bases de datos específicas del sector financiero.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Sequía. • Aridez.	• Mercado – Crédito. La distribución geográfica de este riesgo se concentra en el centro, sur y Levante peninsular, y en las islas. Zonas con mayor propensión a la sequía: Andalucía, R. Murcia, C-LM, C. Valenciana, Cataluña, Aragón, Extremadura, Baleares (MITECO, 2024). Zonas con mayor propensión a la aridez: Canarias, Andalucía, Murcia (MITECO, 2024). Estas zonas cuentan con importante presencia de explotaciones agrícolas de regadío (INE). Según las proyecciones, las cuencas con mayor estrés hídrico serán las del Segura y el Júcar bajo RCP4.5, y las del Guadiana, el Guadalquivir y el Ebro bajo RCP8.5 (Pulido Velázquez, *et al.*, 2020).	• Percepción social del riesgo. • Grupos altamente vulnerables. • Falta de seguros y coberturas adecuadas. • Fragilidad estructura de capital de las empresas. • Falta de diversificación • Degradación de ecosistemas. • Dependencia de recursos naturales (agua). • Concesión de subvenciones (ENESA) para la contratación del SAC. • Efectividad de las políticas de gestión de riesgos climáticos. • Capacidad de respuesta frente a eventos climáticos extremos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La sequía puede producirse de modo simultáneo en varios países donde operan los bancos españoles. En estos escenarios internacionales, las ventajas de la diversificación geográfica serían menores o, incluso, podrían estar ausentes (AMCESFI, 2023), aumentando la exposición y la vulnerabilidad de las entidades españolas frente a estos fenómenos.
Territoriales	Afectará especialmente al centro, sur y Levante peninsular, y a las islas.
Sociales	Afectará especialmente a zonas económicamente vulnerables, algunas expuestas a la despoblación. La competencia entre los usuarios del agua aumentará durante las sequías (especialmente en verano) y podría requerir restricciones estrictas en el consumo del agua (EEA, 2024).
Maladaptación	Algunas prácticas nocivas serían una excesiva restricción del crédito a sectores vulnerables expuestos al cambio climático (como es el caso de la agricultura) que pueda acelerar la desigualdad económica y dificultar la inversión en infraestructuras resilientes, o un aumento de las primas de seguros/tipos de interés que pueda dar lugar a una mayor despoblación en aquellas zonas del campo más afectadas por los cambios en el clima.
Género	No se han encontrado estudios específicos.
	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	No existen umbrales específicos, pero podrían emplearse, como proxy, ratios financieras generales de solvencia (CET1) y rentabilidad (ROE, ROA).
Lock-in/Bloqueo	Invertir en cultivos o en actividades productivas muy dependientes del agua, contar con infraestructuras obsoletas y poco adaptables o apostar por innovaciones tecnológicas de difícil reversión pueden minorar la capacidad para hacer frente a la sequía y a la aridez.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	En general, es un riesgo identificado, pero que cuenta con pocas medidas específicas de respuesta, como ocurre para la mayoría de los riesgos financieros asociados al cambio climático. A nivel nacional, España está trabajando en la transposición de la Directiva de presentación de información sobre sostenibilidad a través del Proyecto de Ley de información empresarial sobre sostenibilidad, mediante la que se modifican el Código de Comercio, la Ley de Sociedades de Capital y la Ley de Auditoría de Cuentas (Este proyecto de ley, una vez aprobado, dará por cumplido el mandato del artículo 32 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. En efecto, dicho artículo requiere informes a las entidades financieras, sociedades cotizadas y empresas de gran tamaño con el objetivo de valorar el impacto financiero del riesgo de cambio climático). Además, España promueve la integración del riesgo climático en la gestión financiera en el marco del PNACC, que es el principal marco estratégico para fortalecer la resiliencia del sector (MITECO, 2020).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A nivel europeo, existen mecanismos de supervisión y prevención que buscan evitar insolvencias, como la normativa de requisitos de capital (UE/Basilea). También se realizan pruebas de resistencia/stress test (ahora también climáticos) por parte del Banco Central Europeo (BCE) y de la Autoridad Bancaria Europea (EBA) que evalúan la capacidad de las entidades financieras para resistir escenarios adversos. Además, existen mecanismos de alerta temprana que permiten detectar riesgos sistémicos que puedan poner en peligro el sistema financiero. Por otro lado, el Reglamento (UE) 2019/2088 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de noviembre de 2019 sobre la divulgación de información relativa a la sostenibilidad en el sector de los servicios financieros (SFDR) establece una serie de requisitos sobre divulgación de finanzas sostenibles y busca reducir la exposición a este tipo de riesgos. Desde el punto de vista privado, entidades bancarias como CaixaBank, Banco Santander o BBVA están llevando a cabo iniciativas que tienen por objetivo integrar los riesgos climáticos en los modelos de gestión de riesgo (CaixaBank, 2023) (Banco Santander, 2023) (BBVA, 2023). Estas acciones están alineadas con el marco del PNACC, el cual aboga por una planificación informada en el sector a través de modelos específicos que combinen el riesgo y los parámetros financieros para recrear eventos históricos y estimar posibles pérdidas futuras (MITECO, 2020). El PNACC aboga por la consolidación de marcos de colaboración y coordinación estables en materia de adaptación al cambio climático entre instituciones públicas, entidades privadas, instituciones académicas y otros agentes clave con el fin de fomentar, entre otros, el intercambio de información y conocimiento que permita entender la evolución del papel del sector financiero en la adaptación (MITECO, 2020). Finalmente, cabe señalar que cualquier medida que se lleve a cabo en otros sectores que incremente la resiliencia climática del sistema (p. ej., que incida sobre la resiliencia de las infraestructuras o de los sistemas productivos) también beneficiará al sistema financiero, aumentando su capacidad resiliente.
Gobernanza de gestión del riesgo	Las competencias regulatorias y de supervisión corresponden, a nivel nacional, al Banco de España y, a nivel europeo, a la EBA y al BCE. El Banco de España opera en el marco de Basilea III y siguiendo las recomendaciones del BCE. Tanto la EBA como el BCE exigen la integración del riesgo climático en la evaluación del riesgo de crédito, así como la creación de planes de adaptación por parte de las entidades financieras. El sistema financiero está integrado, en gran parte, por entidades de carácter privado, por lo que la inclusión del sector privado es esencial de cara a gestionar el riesgo y sus medidas de adaptación. Las entidades financieras privadas tienen una importante capacidad de acción para la mitigación de este riesgo a través de iniciativas de gestión del riesgo que puedan llevar a cabo en el seno de sus organizaciones (como, p. ej., estrategias de diversificación de carteras, evaluaciones de calidad de los activos – ponderación de riesgos, monitorización de las ratios de morosidad – provisiones para pérdidas crediticias, etc.).
Beneficios de medidas de adaptación futuras	Las medidas de adaptación son aún muy incipientes por lo que es difícil estimar sus beneficios. No obstante, de forma general, se puede afirmar que favorecerían la estabilidad del sistema económico. Además, cabe señalar que todas aquellas medidas adoptadas para reducir el riesgo climático en infraestructuras y otros activos tangibles (y, en general, para aumentar la resiliencia del sistema) influirán positivamente en la adaptación del sistema financiero y la actividad aseguradora.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • En principio, neutro. Un aumento del riesgo de crédito puede suponer una disminución del acceso a la financiación para proyectos verdes y empresas en transición. No obstante, esto puede verse compensado por una menor disponibilidad de crédito para los sectores contaminantes. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Neutro, ya que, en principio, no tiene por qué afectar ni negativa ni positivamente. No obstante, la descarbonización podría favorecer un menor incremento de la incidencia de la sequía y la aridez, reduciendo la materialización de este riesgo.
Déficits de información	Faltan más estudios sobre el impacto de este riesgo en España.
Recomendaciones de priorización	No requiere acciones adicionales inmediatas, pero debe permanecer bajo observación para valorar su evolución. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Se puede abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública.

4.4. RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima

Finalmente, el último riesgo clave es el **riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.**

Las principales razones para considerar este riesgo clave son la territorial y la temporal. A nivel geográfico, esta amalgama de desastres afecta cada año a todos los cultivos y áreas geográficas de nuestro país (Fundación Aon, 2024), aunque tiene especial incidencia en el centro, sur y Levante peninsular, y en las islas. A nivel temporal, los impactos ya están ocurriendo: el ejercicio 2023 se cerró con la cifra más alta de siniestralidad en los 43 años de historia del SAC –el cual cubre las pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a este tipo de peligros climáticos– debido a la combinación de los daños por sequía –la más grave hasta el momento– y por las tormentas de pedrisco registradas de manera reiterada y en muy diversos ámbitos geográficos (Agroseguro, 2024). Además, aunque en menor medida, otras razones significativas son el factor distributivo, ya que este riesgo podría tener especial incidencia en zonas vulnerables y expuestas a la despoblación, y el componente adaptativo, puesto que se podría estar dando un uso inadecuado del SAC y estar favoreciendo prácticas de maladaptación, por lo que es necesario revisar su implementación.

La **Figura 5** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando los componentes que inducen al riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichos componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del marco y sobre él recaen los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

Con respecto a los peligros climáticos, este riesgo viene determinado por las sequías, las granizadas (pedrisco), las heladas, las inundaciones, el calor extremo y las plagas, que no son un peligro climático per se, pero que surgen como consecuencia de la materialización de estas.

Desde el punto de vista de la **exposición**, el factor clave es el aseguramiento. El mayor o menor grado de exposición vendrá determinado por el número de pérdidas aseguradas en el sector agrícola que puedan verse afectadas por los eventos climáticos citados.

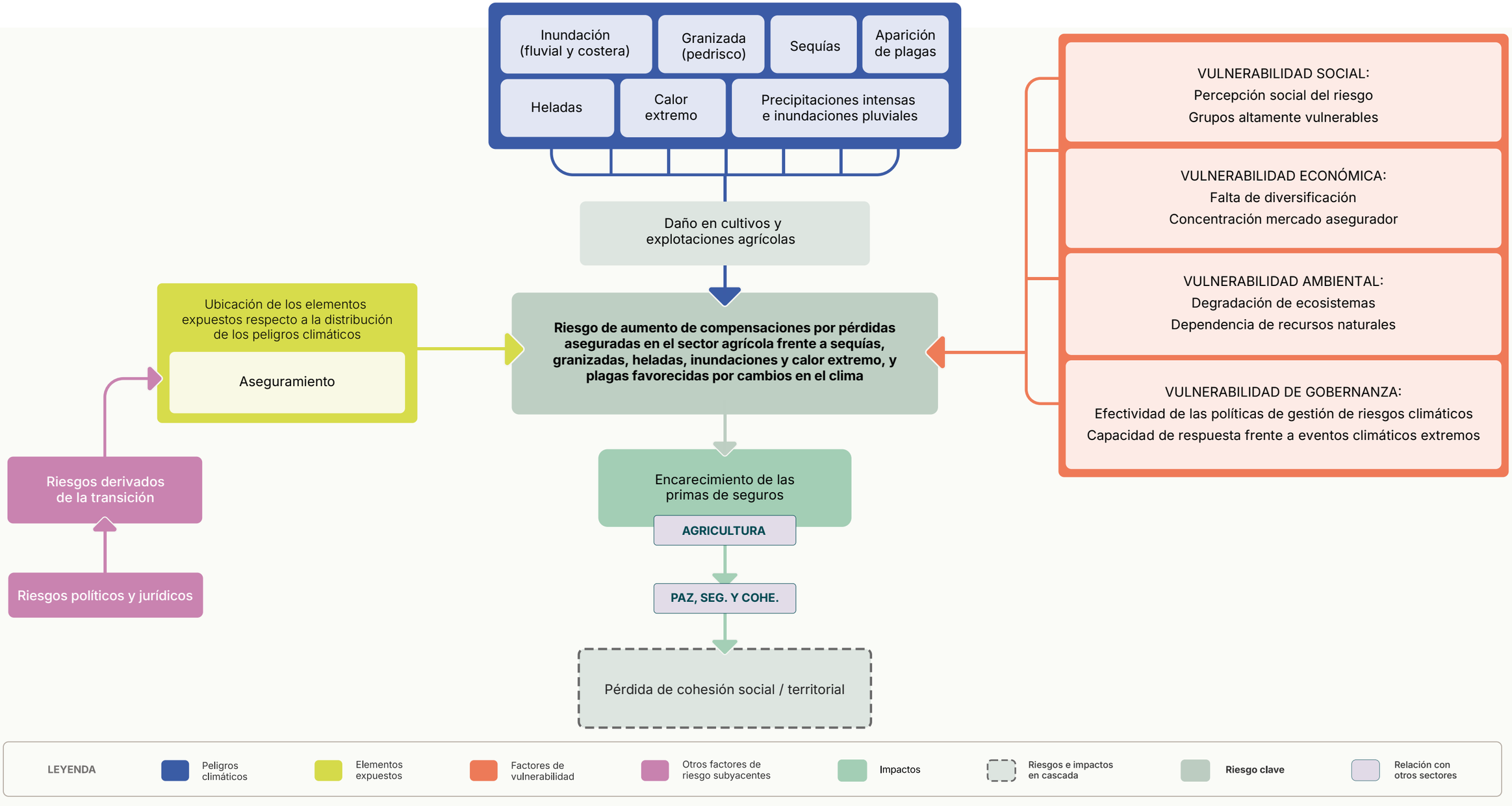


Figura 5. Cadena de impacto del RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.

En cuanto a la **vulnerabilidad**, se identifican cuatro dimensiones principales: la económica, la social, la ambiental y la de gobernanza. Respecto a la **económica**, se identifican como factores de vulnerabilidad una falta de (o mala) diversificación, lo cual puede amplificar el riesgo o reducir el potencial mitigador que tienen las prácticas diversificadoras, o la elevada concentración de entidades en el mercado asegurador. En relación con la vulnerabilidad **social**, entra en juego la percepción social del riesgo climático o la existencia de grupos altamente vulnerables (por razón de renta, género, edad, raza o etnia...). En cuanto a la vulnerabilidad **ambiental**, unos ecosistemas degradados hacen que la incidencia del riesgo se agrave. También, cabe destacar que la dependencia de recursos naturales, como en el caso del agua, acrecienta el riesgo. Finalmente, respecto a la vulnerabilidad **de gobernanza**, son factores de vulnerabilidad una falta de efectividad de las políticas de gestión de riesgos climáticos o una baja capacidad de respuesta frente a estos eventos.

Como **factores subyacentes** de este riesgo destacan los “eventos de cisne negro” y los riesgos de transición, especialmente aquellos que impliquen cambios en políticas y regulaciones climáticas, así como cambios en los subsidios o incentivos que promuevan prácticas que contribuyan tanto a la mitigación como a la adaptación climática (riesgos políticos y jurídicos).

El **impacto** principal que se identifica es:

- Encarecimiento de las primas de seguros: a pesar de que en España existen mecanismos de mutualización y de asociación público-privada, como el SAC, que hacen que los impactos de estos riesgos sean menores que en países de su entorno, un aumento en la frecuencia e intensidad de estos fenómenos climáticos podría dar lugar a un aumento del coste de las primas (EEA, 2024) (Sanz & Galán, 2020), lo que podría provocar un aumento de la "Brecha del Seguro”. Esto, en última instancia, podría afectar negativamente a la cohesión social.

La **Ficha 4** permite ahondar más en el análisis y en las perspectivas de este riesgo clave.

Ficha 4. Análisis del RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial	Crítica	Crítica
	El ejercicio 2023 se ha cerrado con la cifra más alta de siniestralidad en los 43 años de historia del seguro agrario debido a la combinación de los daños por sequía –la más grave hasta el momento– y por las tormentas de pedrisco registradas de manera reiterada y en muy diversos ámbitos geográficos (Agroseguro, 2024).	En general, las proyecciones indican que la severidad del impacto no sería muy elevada, aunque las sequías o el calor extremo podrían tener una incidencia notable sobre las aseguradoras que operan en el sector agrícola (Hidalgo Pérez, 2020).	Las sequías, el calor extremo o el pedrisco verían aumentada su frecuencia o intensidad, generando importantes impactos en el sector asegurador (Hidalgo Pérez, 2020).	Se espera una degradación generalizada, con impactos muy graves, especialmente para los casos de sequía y calor extremo (Hidalgo Pérez, 2020).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio	· Media · Medio
	Faltan publicaciones académicas. En su mayoría, las fuentes disponibles corresponden a publicaciones oficiales. No obstante, estas cuentan con metodologías cuantitativas robustas y datos recientes. Existen pocas bases de datos, pero cubren la totalidad del territorio nacional.	Faltan publicaciones académicas, en su mayoría son publicaciones oficiales. No obstante, estas cuentan con metodologías cuantitativas robustas y datos recientes. Existen pocas bases de datos, pero cubren la totalidad del territorio nacional.	Faltan publicaciones académicas, en su mayoría son publicaciones oficiales. No obstante, estas cuentan con metodologías cuantitativas robustas y datos recientes. Existen pocas bases de datos, pero cubren la totalidad del territorio nacional.	Faltan publicaciones académicas, en su mayoría son publicaciones oficiales. No obstante, estas cuentan con metodologías cuantitativas robustas y datos recientes. Existen pocas bases de datos, pero cubren la totalidad del territorio nacional.

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Sequía. • Granizadas. • Heladas. • Inundaciones (costeras, fluviales, pluviales). • Calor extremo.	• Aseguramiento. La distribución geográfica de este riesgo se concentra en el centro, sur y Levante peninsular, y en las islas. Zonas con mayor propensión a la sequía: Andalucía, R. Murcia, C-LM, C. Valenciana, Cataluña, Aragón, Extremadura, Baleares (MITECO, 2024). Zonas con mayor propensión a heladas: CyL y Aragón. Zonas con mayor propensión a granizadas: Aragón, Cataluña, y C. Valenciana. Plagas favorecidas por el cambio climático: Andalucía, Murcia, C. Valenciana, Cataluña y Canarias	• Percepción social del riesgo. • Grupos altamente vulnerables. • Falta de diversificación. • Concentración mercado asegurador. • Degradación de ecosistemas. • Dependencia de recursos naturales. • Efectividad de las políticas de gestión de riesgos climáticos. • Capacidad de respuesta frente a eventos climáticos extremos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Transfronterizos	La materialización de este riesgo puede producirse no solo por el impacto provocado por estos peligros climáticos en España, sino por el que se produzca en terceros países. Este aspecto es tenido en cuenta por las aseguradoras privadas en sus ejercicios de modelización de riesgos catastróficos (MAPFRE, 2022). Cabe señalar que, dada su importante presencia en la región, las entidades financieras y aseguradoras españolas son especialmente vulnerables a los impactos del cambio climático que se produzcan en Latinoamérica (p. ej., en 2022, MAPFRE RE se vio afectada por las importantes sequías que se produjeron en el río Paraná en Brasil y Paraguay – impacto de 30,2 M€ (MAPFRE, 2022).
Territoriales	Afectará especialmente al centro, sur y Levante peninsular, y a las islas.
Sociales	Afectará especialmente a zonas económicamente vulnerables, algunas expuestas a la despoblación.
Maladaptación	Se puede estar dando un uso inadecuado del Seguro Agrario Combinado (SAC), que esté favoreciendo prácticas de maladaptación (ya que condiciona los usos del suelo, pudiendo provocar impactos negativos económicos, sociales y ecológicos). Esto puede estar suponiendo un problema de riesgo moral: los asegurados toman decisiones menos sostenibles al no ser responsables del coste de dichas decisiones. Todo ello hace que sea necesario revisar la implementación del SAC (OECC, 2024).
Género	No se han encontrado estudios específicos.

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	No existen umbrales específicos, pero podrían emplearse, como proxy, ratios financieras generales de solvencia (Solvencia II), rentabilidad (ROE sectorial o Combined Ratio, Rentabilidad sobre el Patrimonio Técnico) y liquidez (% de Activos Líquidos, Matching de Flujos de Caja).
Lock-in/Bloqueo	Invertir en cultivos poco resistentes al cambio climático (p. ej., muy dependientes del agua o excesivamente sensibles a los cambios bruscos de temperatura), contar con infraestructuras obsoletas y poco adaptables o apostar por innovaciones tecnológicas de difícil reversión pueden suponer una limitación para el desarrollo futuro del sector y para su capacidad para hacer frente a estos fenómenos extremos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	El SAC es un sistema extenso y bien desarrollado en cuanto a garantías y coberturas. Este instrumento hace que España esté comparativamente en una mejor posición que otros países de su entorno, puesto que se trata de un sistema holístico, con una alta penetración, que involucra a todos los actores relevantes y que es flexible (MITECO, 2020). No obstante, según datos del CCS, en los últimos años se viene produciendo una serie de daños crecientes que, en casi todos los ejercicios del SAC, superan a los del anterior. Esto ha supuesto el inicio de una interesante reflexión sobre el papel de este seguro y su insostenibilidad a corto y Medio plazo, de seguir por este camino y con este contexto de peligros climáticos, en la medida de reducir las garantías y las coberturas del relativamente bajo porcentaje de explotaciones que, de forma recurrente, dan la mayor parte de siniestralidades. Esto implica que el seguro, en estos casos localizados pero importantes, se está comportando como un instrumento de maladaptación (aumento del riesgo moral), que se está tratando de corregir. El cambio climático hará que este instrumento sea aún más relevante, si cabe, pero, indudablemente, deberá ser adaptado para favorecer la sostenibilidad financiera y física. En relación con las entidades aseguradoras privadas, se realizan pruebas de resistencia/stress test que evalúan la capacidad de las aseguradoras para resistir escenarios adversos (MAPFRE, 2022) (MAPFRE, 2023). Por otro lado, existen requisitos de capital específicos para las aseguradoras (Solvencia II), que buscan evitar situaciones de insolvencia, y se llevan a cabo ejercicios de Own Risk Solvency Assessment (ORSA) con el objetivo de realizar una evaluación interna prospectiva de los riesgos y la solvencia (MAPFRE, 2022) (MAPFRE, 2023) (VidaCaixa, 2024). A través de estrategias de diversificación, se puede reducir la exposición y la vulnerabilidad a este tipo de riesgos. Las aseguradoras cuentan con modelos especializados para analizar la exposición ante eventos climáticos catastróficos, lo que les permite actuar en consecuencia (MAPFRE, 2022) (MAPFRE, 2023) (VidaCaixa, 2024). El PNACC aboga por la consolidación de marcos de colaboración y coordinación estables en materia de adaptación al cambio climático entre instituciones públicas, entidades privadas, instituciones académicas y otros agentes clave con el fin de fomentar, entre otros, el intercambio de información y conocimiento que permita entender la evolución del papel de la actividad aseguradora en la adaptación (MITECO, 2020).
Gobernanza de gestión del riesgo	En España, la gobernanza de gestión de este tipo de riesgos se articula en torno al SAC, que se caracteriza por basarse en una estrecha colaboración entre los sectores público y privado, y en el que participan los siguientes actores (Agroseguro, 2024): • Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA) – Elabora anualmente el Plan de Seguros Agrarios Combinados y gestiona las subvenciones al seguro. Cuenta con comisiones territoriales, dirigidas por las respectivas Comunidades Autónomas -que, adicionalmente, también conceden subvenciones-. Depende del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. • Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados, S.A. (Agroseguro) – Administra, por cuenta de las aseguradoras accionistas (sector privado), los seguros agrarios combinados contratados. • Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) – Actúa de reasegurador obligatorio del sistema, controla las peritaciones de los siniestros y participa en el pool del coaseguro (ejecutando estas tareas en colaboración con la Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones - DGSFP).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	El SAC posibilita realizar modificaciones anuales sobre las líneas aseguradas en función de las necesidades y la realidad del sector, así como aumentar o disminuir las primas en función de la siniestralidad. Se trata de un mecanismo flexible, con capacidad de adaptación continua, que permite mejorar la solvencia económica del sector. Sin embargo, se trata de una rama del seguro muy vulnerable climáticamente. Para mejorar la asegurabilidad, algunos autores recomiendan estudiar la posibilidad de introducir, en las explotaciones, condiciones técnicas mínimas de adaptación al cambio climático con el fin de mejorar la resiliencia de las explotaciones y su rendimiento y aportar un beneficio en forma de reducción de primas en la contratación del seguro agrario. En el futuro, deberán articularse mecanismos de adaptación al cambio climático que presten especial atención a las necesidades de gestión del agua, suelo, etc. (Hidalgo Pérez, 2020). Además, es importante una revisión del sistema para evitar el aumento del riesgo moral que pueda derivarse de un mal uso del SAC. Por otro lado, sería interesante no contemplar solo medidas que promuevan el análisis del riesgo, sino también otras medidas de reducción del mismo (como, p. ej., la promoción de medidas de adaptación entre los asegurados). En definitiva, como resalta el PNACC, resulta fundamental no sólo fomentar el papel de los seguros en materia de adaptación, sino también evaluar los riesgos asociados al cambio climático para el sector asegurador y adoptar las medidas necesarias para su adaptación. El sector asegurador, en general, e instituciones como el CCS o ENESA, deben trabajar estrechamente junto a las instituciones y sectores competentes en la gestión y la reducción de los riesgos (MITECO, 2020). Será especialmente relevante un alineamiento con las políticas agrarias y con la promoción de prácticas agrícolas más resilientes. El sector asegurador puede ser una valiosa fuente de datos de siniestralidad, pero además tiene potencial para implicarse de un modo más proactivo en la reducción de sus riesgos, fomentando las medidas de autoprotección por parte de los asegurados o la reconstrucción resiliente (build-back-better) (MITECO, 2020).
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Impacto del riesgo en la descarbonización: • En principio, positivo. Este riesgo puede actuar como catalizador, incentivando prácticas agrícolas sostenibles y promoviendo una mayor resiliencia climática. No obstante, también puede ocurrir que, frente a estos eventos climáticos, se acuda a soluciones a corto plazo que aumenten las emisiones. Impacto de la descarbonización en el riesgo: • Neutro. La descarbonización podría favorecer un menor aumento de la incidencia de los peligros climáticos, reduciendo la materialización de este riesgo. Sin embargo, la transición a un sistema descarbonizado podría tener un efecto negativo en el corto plazo al implicar cambios en algunos rendimientos agrícolas.
Déficits de información	A pesar de que es un riesgo cuyo análisis está bastante desarrollado, faltan más estudios académicos que analicen su impacto en España, ya que, de momento, solo se cuenta con publicaciones de organismos como Agroseguro o MITECO.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector. Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase capítulo de Riesgos Complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente. Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí. Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros. Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

A continuación, se esbozan los grafos de cada riesgo clave (RC) del capítulo sectorial de "Sistema financiero y actividad aseguradora" (ver de **Figura 6** a la **Figura 9**).

El primero de los riesgos clave, el **RC13.1 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático** (**Figura 6**), tiene grado de entrada 22 y grado de salida 1. Este riesgo se trata de uno de los más expuestos dentro de todo el análisis y actúa como receptor de múltiples influencias, lo que le convierte en indicador sensible del estado general del sistema. Se ve especialmente afectado por riesgos de los sectores *Agricultura y ganadería* (RC5; 4 riesgos), *Agua* (RC2; 3), *Costas* (RC6; 3) y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14; 3). También, aunque en menor medida, por riesgos de los sectores *Patrimonio natural* (RC3; 2 riesgos), *Industria y servicios* (RC11; 2), *Turismo* (RC12; 2), *Ciudad* (RC7; 1), *Energía* (RC9; 1) y *Transporte* (RC10; 1). Este riesgo solo afecta a otro riesgo clave, el cual pertenece a *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14).

El segundo de los riesgos clave, el **RC13.2 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático** (**Figura 7**), tiene grado de entrada 19 y grado de salida 1. De nuevo, este riesgo se trata de uno de los más expuestos dentro de todo el análisis y actúa como receptor de múltiples influencias, lo que le convierte en indicador sensible del estado general del sistema. Se ve especialmente afectado por riesgos de los sectores *Agricultura y ganadería* (RC5; 4 riesgos), *Ciudad* (RC7; 3) y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14; 3). También, aunque en menor medida, por riesgos de los sectores *Agua* (RC2; 2 riesgos), *Costas* (RC6; 2), *Transporte* (RC10; 2), *Turismo* (RC12; 2) e *Industria y servicios* (RC11; 1). Este riesgo solo afecta a otro riesgo clave, el cual pertenece a *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14).

El tercero de los riesgos clave, el **RC13.3 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez** (**Figura 8**), tiene grado de entrada 8 y grado de salida 2. Se ve especialmente afectado por riesgos del sector *Agricultura y ganadería* (RC5; 3 riesgos). También, aunque en menor medida, por riesgos de los sectores *Agua* (RC2; 2 riesgos), *Forestal* (RC4; 2) y *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14; 1). Este riesgo afecta a dos riesgos clave, los cuales pertenecen a *Agricultura y ganadería* (RC5) y a *Paz, seguridad y cohesión social* (RC14).

Finalmente, el cuarto riesgo clave, el **RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima** (**Figura 9**), tiene grado de entrada 13 y grado de salida 1. Se ve especialmente afectado por riesgos de los sectores *Forestal* (RC4; 4 riesgos), *Agua* (RC2; 3) y *Agricultura y ganadería* (RC5; 3). También, aunque en menor medida, por riesgos de los sectores *Patrimonio natural* (RC3; 2 riesgos) y *Costas* (RC6; 1). Este riesgo solo afecta a otro riesgo clave, el cual pertenece a *Agricultura y ganadería* (RC5).

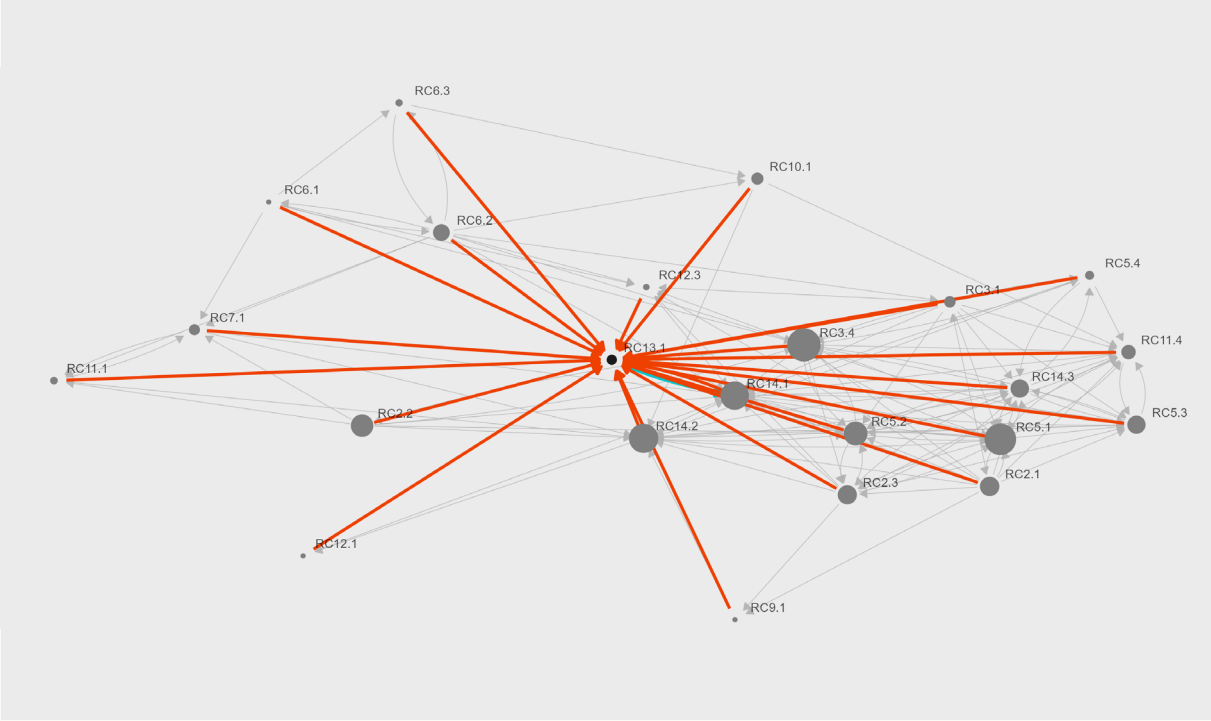


Figura 6. Grafo del RC13.1 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático. Fuente: Capítulo de Riesgos complejos.

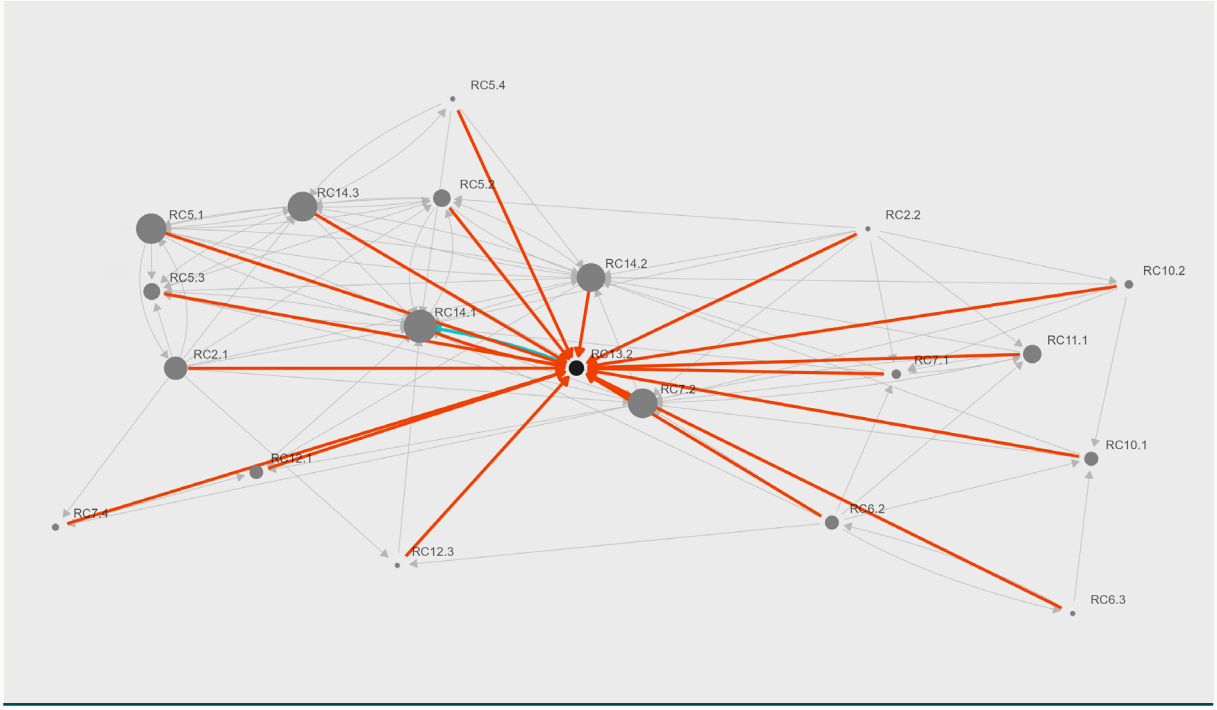


Figura 7. Grafo del RC13.2 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático. Fuente: Capítulo de Riesgos complejos.

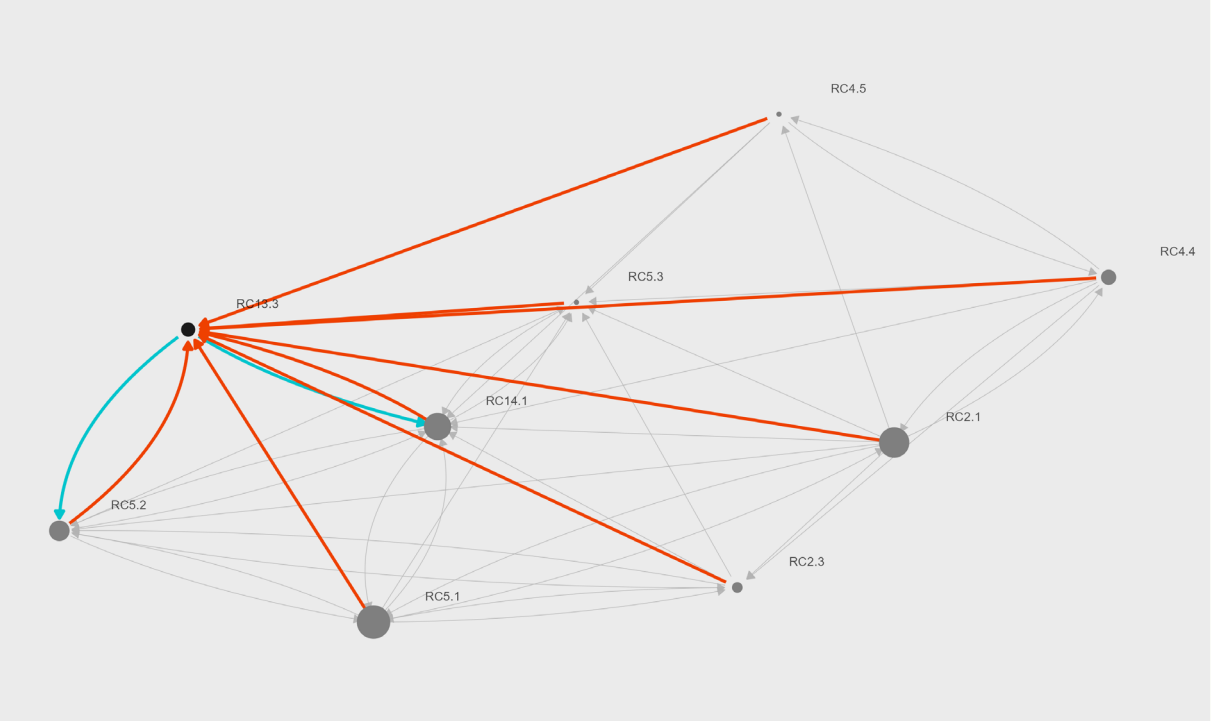


Figura 8. Grafo del RC13.3 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez. Fuente: Capítulo de Riesgos complejos.

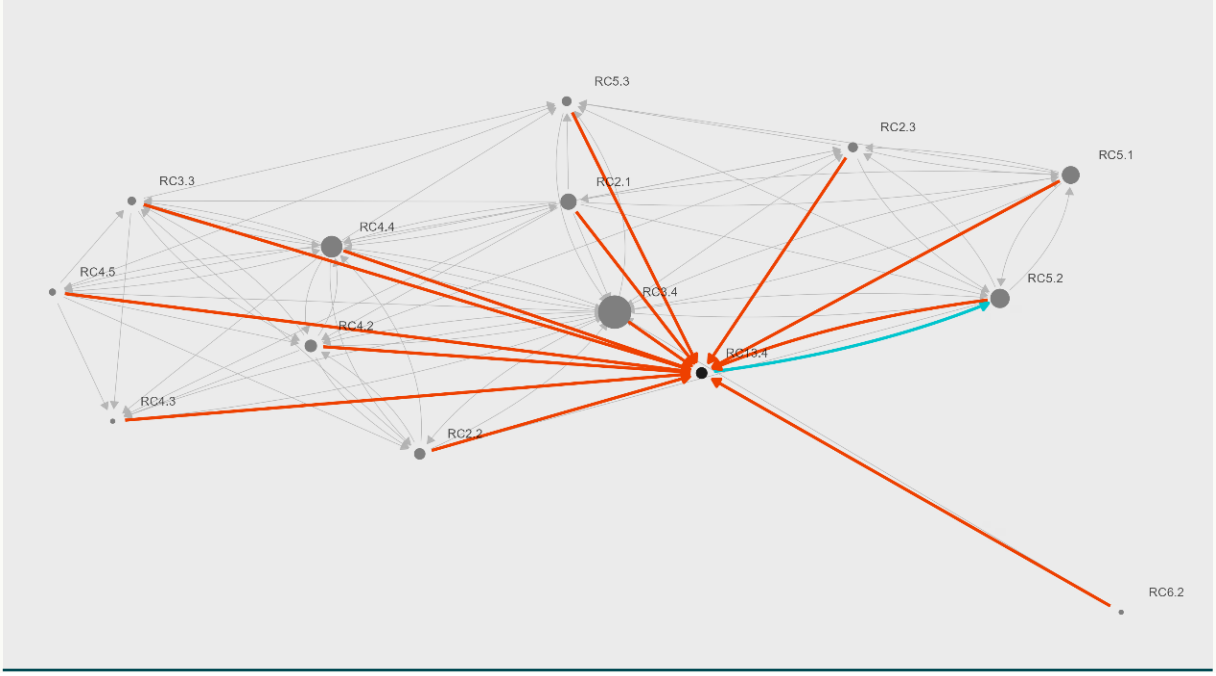


Figura 9. Grafo del RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.
Fuente: Capítulo de Riesgos complejos.

Las métricas de estos riesgos clave se resumen en la tabla inferior (Tabla 2).

En el caso de los valores umbrales de los grados de entrada y de salida se ha definido el valor 10 como punto de corte al obtenerse en el análisis de riesgos complejos un máximo de 29 conexiones posibles entre al menos uno de los 51 riesgos clave y el resto de los riesgos clave del sistema.

- Grado de entrada/salida:
  > Bajo: < 10
  > Alto: >= 10

Por su parte, los valores umbrales de intermediación y cercanía responden a los percentiles que ocupan los valores obtenidos en el análisis de riesgos complejos, correspondiendo los puntos de corte al percentil 25 (entre la categoría baja y la categoría media) y el percentil 75 (entre la categoría media y la categoría alta).

- Intermediación:
  > Baja: 0 – 50
  > Media: > 50 – 200
  > Alta: > 200

- Cercanía:
  > Baja: 0 – 0,005
  > Media: > 0,005 – 0,009
  > Alta: > 0,009

Tabla 2. Clasificación de métrica según el análisis de riesgos complejos en el sector "Sistema financiero y actividad aseguradora".

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC13.1 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.	Alto ▲	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼
RC13.2 Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático.	Alto ▲	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼
RC13.3 Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez.	Bajo ▼	Bajo ▼	Bajo ▼	Medio –
RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.	Alto ▲	Bajo ▼	Bajo ▼	Medio –

6. Caso de estudio

El caso de estudio "**Representación espacio-temporal de los siniestros de riesgos extraordinarios por causas naturales**" ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito del Sistema financiero y la actividad aseguradora. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Representación espacio-temporal de los siniestros de riesgos extraordinarios por causas naturales

Objeto:

El seguro es una de las fuentes de información más detalladas y exactas que se pueden utilizar para hacer análisis de riesgos catastróficos. Sin embargo, en la mayoría de los países existe un problema de disponibilidad de datos. Entre los objetivos del CCS se encuentra la promoción de la prevención y la reducción de los riesgos y la realización de actividades que contribuyan a minimizar los efectos de los eventos catastróficos. Sin duda, los datos de siniestralidad del CCS son una fuente extremadamente útil para lograr estos objetivos. Este conocimiento es más importante, si cabe, en el presente contexto de crisis climática en el que se deberá actuar aún con más empeño en la reducción de la vulnerabilidad de los bienes expuestos ante una peligrosidad que aumenta.

Descripción:

Análisis de la distribución geográfica y temporal de los siniestros relacionados con riesgos extraordinarios de

Ámbito Territorial:

- España.

Sector(es)/subsector:

- Sistema financiero y actividad aseguradora/Actividad aseguradora.

Entidad(es) del proyecto:

- Consorcio de Compensación de Seguros (CCS).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

origen natural (como inundaciones, embates de mar, tempestades ciclónicas atípicas y riesgos geológicos) en España, a lo largo del periodo entre 1996 y 2022, y en el caso de tempestades de viento extremo entre 2012 y 2022. Este estudio emplea datos del CCS sobre indemnizaciones y la exposición de los bienes asegurados —distribuidos por código postal, municipio, provincia, comunidad autónoma, etc.— con el objetivo de:

- Evaluar dónde ocurren estos siniestros y su impacto económico en relación con la exposición de bienes asegurados.
- Determinar cuándo ocurren (estacionalidad) por tipo de riesgo natural.
- Visualizar y representar esta información mediante mapas temáticos para identificar patrones espaciales y temporales.
- Facilitar la prevención y gestión del riesgo, aportando conocimiento que contribuya a planificar acciones de mitigación y reducción de vulnerabilidad.

Aspectos destacables

- Iniciativa clave a la hora de abordar el problema de disponibilidad de datos en el ámbito asegurador para el análisis de riesgos catastróficos. Estudio pormenorizado a nivel temporal y espacial de la situación en España en las últimas décadas (1996-2022), incluyendo representación cartográfica para identificar patrones. Enfoque multidimensional que combina variables económicas, temporales y geográficas para apoyar la gestión de riesgos.

Escala:

- Nacional.

Riesgo(s):

- Vulnerabilidad creciente de los bienes asegurados ante una peligrosidad en aumento (inundaciones, embates de mar, tempestades ciclónicas atípicas y riesgos geológicos) debido al cambio climático.

Enlaces:

- https://consorsegurosdigital.com/es/numero-19/sumario/colaboraciones/representacion-espacio-temporal-de-los-siniestros-de-riesgos-extraordinarios-por-causas-naturales/

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del sector

Este capítulo aborda los principales riesgos climáticos del sistema financiero y la actividad aseguradora en España, así como su interrelación con los riesgos de otros sectores, con el fin de poder orientar la adaptación en su planificación y gestión. Asimismo, identifica una serie de riesgos clave, en base a la información existente y a una valoración en clave de urgencia, con el fin de identificar aquellos que requieren una atención más inmediata en el siguiente ciclo de planificación.

Para conocer la limitación de los resultados de este capítulo, es conveniente indicar ciertos condicionantes encontrados a lo largo del proceso de análisis, que están principalmente vinculados con la información disponible. A continuación, se describen, de forma genérica, las fuentes empleadas y se visibilizan las limitaciones encontradas en el estudio de estas fuentes.

Fuentes empleadas

Las principales fuentes empleadas en este análisis han sido el Informe bienal de riesgos del cambio climático para el sistema financiero (AMCESFI, 2023) y el informe sobre Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la actividad aseguradora (Hidalgo Pérez, 2020). Estos documentos, que han servido de punto de partida del presente Capítulo, analizan la relación entre el cambio climático y el sistema financiero y la actividad aseguradora en España. Otros estudios consultados han sido los elaborados por el Banco de España en materia de desertificación, incendios y crédito (Álvarez-Román, *et al.*,2024) (Broto & Hubert, 2024). Sin embargo, estos análisis son más específicos y con perspectivas backward-looking, fijándose en el pasado y no adentrándose en las proyecciones para los distintos escenarios climáticos futuros. Otro estudio de interés ha sido el elaborado por Lamas Rodríguez *et al.,* (2023) sobre variación de precios de activos, degradación ecológica y percepción social del riesgo. Por otro lado, aparte de los mencionados, se han consultado otros informes no académicos de instituciones públicas tales como el Ministerio de Economía, Comercio y Empresa (MINECO); el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO); el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA); el Instituto Nacional de Estadística (INE); el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS); la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET); el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX); o el Joint Research Centre (JRC), así

como artículos científicos de ámbito nacional e internacional. En lo que concierne específicamente a los seguros, también se han empleado los informes elaborados por las aseguradoras privadas españolas. Con respecto al sistema financiero, se han consultado las publicaciones de la iniciativa Network for Greening the Financial System (NGFS).

Otra importante fuente de información, que ha sido empleada para abordar el marco metodológico, corresponde al Sexto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2022), cuyo enfoque es el pilar central que guía la evaluación de riesgos de este Capítulo. Asimismo, para el diseño del marco de evaluación se han empleado otras fuentes relevantes, como la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022), la Evaluación europea del riesgo climático (EUCRA) (EEA, 2024) y el Tercer Informe técnico sobre la evaluación de riesgos del cambio climático en el Reino Unido (CCRA3) (Betts & Brown, 2021).

Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del sector

La identificación de los riesgos relevantes se ha basado en una revisión de la literatura existente, la cual suele estar basada en impactos climáticos pasados y en las vulnerabilidades que muestra el sector.

Para este sector y en lo que respecta a España, la cuantificación de los impactos y riesgos es aún muy limitada. Se echa en falta un mayor número de estudios cuantitativos que aborden estos aspectos bajo una perspectiva forward-looking, que incluya proyecciones futuras que analicen las implicaciones de los diferentes escenarios climáticos futuros. La integración de los riesgos físicos en los modelos financieros es aún muy limitada.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El análisis multicriterio (AMC) elaborado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por el IPCC (2022), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, las características temporales del riesgo, los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. Tal y como se refleja previamente, las restricciones en la disponibilidad de información complican la evaluación objetiva de los criterios, haciendo necesario recurrir al juicio de personas expertas. Si bien este juicio puede estar sujeto a sesgos personales y limitaciones subjetivas, se ha implementado un riguroso proceso de validación interna para reducir dicho riesgo, de forma que las evaluaciones han sido revisadas y corroboradas por múltiples expertos, reforzando, así, la fiabilidad y la objetividad de los resultados obtenidos.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

Del mismo modo, la limitada información disponible complica la caracterización objetiva de los riesgos clave. Por ello, la información recopilada en las fichas se presenta como una aproximación preliminar y resulta necesario continuar generando nuevo conocimiento que permita una mejor comprensión de todas las cuestiones que estas incluyen (aspectos transfronterizos, territoriales, sociales, de maladaptación, de género, sobre umbrales críticos, lock-in, planes y medidas en curso, etc.). Además, cabe señalar que es especialmente compleja la caracterización de la severidad del impacto en función de los distintos niveles de calentamiento al haber escasa o nula información sobre estos aspectos en el sector "Sistema financiero y actividad aseguradora" en relación con los riesgos físicos.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Existe una urgente necesidad de ampliar el conocimiento sobre las relaciones entre los riesgos propios del sector analizado en este Capítulo y los del resto de sectores, ya que esto permitirá una mejor comprensión de cómo pueden afectar los denominados riesgos complejos al sector en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y efectivas. Esto es fundamental en un sector como el financiero y asegurador, ya que se trata de un intermediario clave en el sistema económico y es receptor/emisor de numerosos riesgos, por lo que requiere un análisis holístico completo.

Limitaciones generales

El sector "Sistema financiero y actividad aseguradora" es identificado como ámbito de trabajo en el PNACC-2, donde se señala como un campo clave sobre el que es necesario actuar de forma coherente y coordinada frente a los efectos del cambio climático en España (MITECO, 2020). Sin embargo, la falta de literatura sobre los riesgos e impactos de las variaciones climáticas en este sector es flagrante, especialmente para el caso de los riesgos físicos (cabe señalar que sí que es posible encontrar más análisis sobre los riesgos de transición, los cuales no son objeto de estudio en este Capítulo). Evaluar los potenciales impactos del cambio climático en este sector es complejo, puesto que muchas veces es receptor de efectos de segundo orden generados en otros sectores y en la economía real, los cuales son difíciles de identificar (EEA, 2024). Esto, unido a la falta de transparencia informativa por parte de las entidades respecto a su exposición y vulnerabilidad frente a las variaciones en el clima, hace difícil realizar un análisis exhaustivo de la situación del sector. No obstante, recientemente se han puesto en práctica importantes iniciativas que pretenden atajar esta situación, como la Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo por lo que respecta a la presentación de información sobre sostenibilidad por parte de las empresas (CSRD).

8. Referencias

- Abrhám, J., Soukupova, J. & Prochazka, P., 2025. Wildfires and Tourism in the Mediterranean: Balancing Conservation and Economic. *BioResources,* 20(1), pp. 500-526.
- AEMET, 2023. *Borrascas con gran impacto de la temporada 2022-2023.* [En línea] Available at: https://www.aemet.es/es/conocermas/borrascas/2022-2023
- AEMET, 2024. *Borrascas con gran impacto de la temporada 2023-2024.* [En línea] Available at: https://www.aemet.es/es/conocermas/borrascas/2023-2024
- AEMET, 2025. *Borrascas con gran impacto de la temporada 2024-2025.* [En línea] Available at: https://www.aemet.es/es/conocermas/borrascas/2024-2025
- Agroseguro, 2024. *Guía del Seguro Agrario 2024,* Madrid: Agroseguro.
- Agroseguro, 2024. *Informe Anual 2023,* Madrid: Agroseguro.
- Agroseguro, 2024. *Quiénes somos.* [En línea] Available at: https://agroseguro.es/conocenos/quienes-somos/#:~:text=Agroseguro%20es%20la%20Agrupaci%C3%B3n%20Espa%C3%B1ola,parte%20del%20pool%20de%20coaseguro.
- Agroseguro, 2024. *Sistema español de Seguros Agrarios Combinados,* Madrid: Agroseguro.
- Álvarez-Román, L., Mayordomo, S. & Vergara-Alert, C. V. X., 2024. *Climate risk, soft information and credit supply,* Madrid: Banco de España.
- Álvarez, S., Nájera, A. & Espejo, F., 2016. El impacto del cambio climático en el sector financiero y de seguros. *Economía y cambio climático: reto y oportunidad nº 892,* pp. 59-72.
- Amblar Francés, P. y otros, 2017. *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5,* Madrid: Agencia Estatal de Meteorología - Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- AMCESFI, 2023. *Informe bienal de riesgos del cambio climático para el sistema financiero,* s.l.: s.n.
- Banco de España, 2024. *Comunicación del Banco de España en relación con los efectos de la DANA.* Madrid, Banco de España.
- Banco de España, 2024. *Registro de oficinas de entidades supervisadas - Distribución geográfica de oficinas por entidad,* s.l.: Recuperado de https://app.bde.es/exbwciu/exbwciuias/xml/Arranque.html.
- Banco Santander, 2023. *Climate Finance Report 2023,* Madrid: Banco Santander.
- BBVA, 2022. *Informe con Relevancia Prudencial Pilar 3 2021,* Bilbao: BBVA.
- BBVA, 2023. *Informe de evaluación del impacto financiero de los riesgos asociados al cambio climático,* Madrid: BBVA Seguros.
- BBVA, 2023. *Informe TCFD 2023,* Bilbao: BBVA Asset Management & Global Wealth.
- Betts, R. A. & Brown, K., 2021. *Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report.* London: Prepared for the Climate Change Committee.

- BME, 2025. *Bolsas y Mercados Españoles. Mercados y Cotizaciones - Acciones - IBEX 35.* [En línea] Available at: https://www.bolsasymercados.es/bme-exchange/es/Mercados-y-Cotizaciones/Acciones/Mercado-Continuo/Precios/ibex-35-ES0SI0000005
- Broto, C. & Hubert, O., 2024. *Desertification in Spain: Is there any impact on credit to firms?,* Madrid: Banco de España.
- Cabeza-Ramírez, L., Guerrero-Baena, M., Luque-Vílchez, M. & Sánchez-Cañizares, S., 2024. Assessing farmers' intention to adopt drought insurance. A combined perspective from the extended theory of planned behavior and behavioral reasoning theory. *International Journal of Disaster Risk Reduction,* Volumen 113.
- CaixaBank, 2023. *Informe climático 2023,* Valencia: CaixaBank.
- CCS, 2024. *La Entidad - Acerca del CCS.* [En línea] Available at: https://www.consorseguros.es/la-entidad/acerca-de-ccs
- CCS, 2025. *Decimosexta nota informativa sobre las inundaciones extraordinarias producidas por la dana del 26 de octubre al 4 de noviembre de 2024 en la Comunidad Valenciana, Andalucía, Cataluña, Castilla-La Mancha, Baleares, Aragón y otras zonas y la gestión (...).* Madrid: Consorcio de Compensación de Seguros.
- CEDEX, 2017. *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España,* Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- CEDEX, 2021. *Informe Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España,* Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Crédito y Caución, 2023. La sequía afecta al riesgo de crédito en el sur de Europa. *CyC News - Análisis CyC.*
- DGSFP - MINECO, 2022. *Resumen Informe del Sector 2022,* Madrid: Dirección General de Seguros y Fondos de Pensiones. Ministerio de Economía, Comercio y Empresa.
- EEA, 2024. *European Climate Risk Assessment (Publication No. 01/2024),* Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Eklund, L. y otros, 2023. *Towards a European wide vulnerability framework,* Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- ENESA, 2024. *¿Qué es ENESA?.* [En línea] Available at: https://www.mapa.gob.es/es/enesa/enesa/que_es_enesa/
- Faccini, R., Matin, R. & Skiadopoulos, G., 2023. Dissecting climate risks: Are they reflected in stock prices?. *Journal of Banking & Finance,* Volumen 155.
- Feyen, L. y otros, 2020. *Climate change impacts and adaptation in Europe,* Sevilla: Joint Research Centre (European Commission).
- Fundación Aon, 2024. *Barómetro de catástrofes en España 2023,* Madrid: Fundación Aon España.
- González Martínez, C. I. & Núñez Ramos, S., 2020. Cambio climático y sistema financiero: una necesaria mirada al futuro. *Papeles de economía española,* Issue 163, pp. 130-145.
- Grippa, P., Schmittmann, J. & Suntheim, F., 2019. Cambio climático y riesgo financiero. *Finanzas & Desarrollo - International Monetary Fund (IMF),* pp. 26-29.

- Hidalgo Pérez, A. I., 2020. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la actividad aseguradora,* Madrid: Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica.
- INE, 2015. *Uso del agua en la Industria manufacturera 2015,* Madrid: Instituto Nacional de Estadística.
- INE, 2017. *Estudio piloto sobre el uso del agua en el sector servicios (2008-2013)* , Madrid: Instituto Nacional de Estadística.
- INE, 2024. *Valor Añadido Bruto por ramas de actividad,* s.l.: Recuperado de https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=32450.
- IPCC, 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* Geneva: Cambridge University Press.
- Lamas Rodríguez, M., García Lorenzo, M. L., Medina Magro, M. & Pérez Quirós, G., 2023. Impact of climate risk materialization and ecological deterioration on house prices in Mar Menor, Spain. *Scientific Reports,* Issue 13.
- Ley de cambio climático, 2021. *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.* Madrid: Boletín Oficial del Estado.
- Ley de infraestructuras críticas, 2011. *Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas.* Madrid: Boletín Oficial del Estado.
- Liberti, J. M. & Petersen, M. A., 2018. Information: Hard and Soft. *The Review of Corporate Finance Studies,* 8(1), pp. 1-41.
- MAPA, 2023. *Informe Anual de Indicadores,* Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- MAPFRE, 2022. *Informe TCFD,* Madrid: MAPFRE.
- MAPFRE, 2023. *Informe TCFD,* Madrid: MAPFRE.
- Maudos, J., 2016. La concentración regional del mercado bancario español. *Cuadernos de Información Económica, 251,* pp. 49-62.
- Maudos, J., 2023. ¿Cuál es la aportación directa del sector bancario a la economía española?. *El Español*, 7 diciembre.
- MITECO, 2016. *Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española,* Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente - Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.
- MITECO, 2020. *PNACC: Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030,* Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO, 2021. *Marco eficaz de gestión del riesgo de catástrofes en España - La organización de la gestión del riesgo de catástrofes en España coherente con la estrategia de adaptación al cambio climático,* Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO, 2024. *Gestión de sequías. Informes y mapas de seguimiento,* Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- MITECO, 2024. *La desertificación en España,* Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

- Monasterolo, I., 2020. Climate Change and the Financial System. *Annual Review of Resource Economics,* Volumen 12, pp. 299-320.
- Montoriol Garriga, J., Martín Vilató, Z. & Alcobé García, E., 2024. Impacto económico de las inundaciones en la provincia de Valencia. *Economía y mercados. Actividad y crecimiento. CaixaBank Research.*
- NGFS, 2020. *Overview of Environmental Risk Analysis by Financial Institutions,* Paris: Network for Greening the Financial System.
- NGFS, 2024. *NGFS Network for Greening the Financial System - Origin and Purpose.* [En línea] Available at: https://www.ngfs.net/en
- OECC, 2024. *Prevención de la maladaptación al cambio climático - Documentos de trabajo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* , Madrid: Oficina Española de Cambio Climático - Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Parrado, R. y otros, 2020. Fiscal effects and the potential implications on economic growth of sea-level rise impacts and coastal zone protection. *Climate Change,* Volumen 160, pp. 283-302.
- Pulido Velázquez, M., Macián Sorribes, H. & Escrivá Bou, À., 2020. Balance hídrico actual y futuro en las cuencas en España, déficits estructurales e implicaciones socioeconómicas. *Estudios sobre la Economía Española (Fedea),* Volumen 38.
- Ranger, N., Mahul, O. & Monasterolo, I., 2022. *Assessing Financial Risks from Physical Climate Shocks: A Framework for Scenario Generation,* Washington: The World Bank.
- Real Decreto del seguro de riesgos extraordinarios, 2004. *Real Decreto 300/2004, de 20 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento del seguro de riesgos extraordinarios.* Madrid: Boletín Oficial del Estado.
- Real Decreto-ley sobre sequía, Ucrania, transporte público y riesgos laborales, 2023. *Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo, por el que se adoptan medidas urgentes en materia agraria y de aguas en respuesta a la sequía y al agravamiento de las condiciones del sector primario derivado del conflicto bélico en Ucrania y de las (...).* Madrid: Boletín Oficial del Estado.
- Reisinger, A., Howden, M., Vera, C. & (...), 2020. *The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: a summary of cross-Working Group discussions,* Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Rossi, L. y otros, 2023. *European Drought Risk Atlas,* Luxembourg: JRC - Publications Office of the European Union.
- Santurtún, A. y otros, 2023. Descriptive analysis of occupational accidents in Spain and their relationship with heatwaves. *Preventive Medicine,* Issue 175.
- Sanz, M. & Galán, E., 2020. *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España,* Madrid: Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Szewczyk, W., Mongelli, I. & Ciscar, J.-C., 2021. Heat stress, labour productivity and adaptation in Europe—a regional and occupational analysis. *Environmental Research Letters,* Issue 16.
- Taleb, N. N., 2007. *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable.* United States: Random House.
- TCFD, 2020. *Guidance on Risk Management Integration and Disclosure,* Basel: Task Force on Climate-related Financial Disclosures.
- UE, 2019. *Reglamento (UE) 2019/2088 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de*

noviembre de 2019 sobre la divulgación de información relativa a la sostenibilidad en el sector de los servicios financieros. Luxemburgo: Diario Oficial de la Unión Europea.

- UE, 2022. *Directiva (UE) 2022/2464 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de diciembre de 2022, por la que se modifican el Reglamento (UE) n.o 537/2014, la Directiva 2004/109/CE, la Directiva 2006/43/CE y la Directiva 2013/34/UE.* Luxemburgo: Diario Oficial de la Unión Europea.
- UNDRR, 2022. *Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context,* Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Unespa, 2022. *El seguro y la sostenibilidad climática,* Madrid: Unespa.
- VidaCaixa, 2024. *Informe climático 2023,* Madrid: CaixaBank.

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Paz, seguridad y cohesión social

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autoría del capítulo

Autora: María Ayelén Calvet (Tecnalia)

Contribuyentes: María Puig Fuentenebro (Tecnalia), Daniel Navarro Cueto (Tecnalia), Lara Lázaro Touza (Real Instituto Elcano), Gonzalo Escribano Francés (Real Instituto Elcano)

Agradecimientos: Sandra Hernando Casas (Tecnalia), Oihana Jauregui Zorzano (Tecnalia), Andrea Briones (Real Instituto Elcano), Sofía Tirado Sarti (Real Instituto Elcano), Ignacio Urbasos Arbeloa (Real Instituto Elcano)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Calvet, M.A. (2025). Paz, seguridad y cohesión social. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo / pág. 1334

2. Introducción / pág. 1336

3. Riesgos relevantes del ámbito sectorial de la paz, seguridad y cohesión social / pág. 1339

4. Riesgos clave del ámbito sectorial de la paz, seguridad y cohesión social / pág. 1349

   4.1. RC14.1. Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático / pág. 1350

   4.2. RC14.2. Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático / pág. 1363

   4.3. RC14.3. Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos / pág. 1378

5. Análisis de riesgos complejos / pág. 1391

6. Caso de estudio / pág. 1396

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del ámbito sectorial / pág. 1398

8. Referencias / pág. 1401

1. Aspectos metodológicos y contenido del capítulo

Este documento corresponde al **Capítulo Sectorial Paz, seguridad y cohesión social** de la **Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España** (ERICC-2025).

El análisis de riesgos utiliza el marco conceptual desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en la sexta evaluación (AR6, 2022). En este contexto, el riesgo de que se produzca un impacto o un conjunto de impactos derivados del cambio climático es el resultado de la integración de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. De acuerdo con dicho marco, los riesgos se incrementan si aumenta la peligrosidad de origen climático, la exposición o la vulnerabilidad o cualquier combinación de los anteriores. De igual modo, cualquier acción que contribuya a disminuir la peligrosidad, la exposición o la vulnerabilidad conduce a una reducción del riesgo. El estudio se desarrolla a nivel nacional, indicando adicionalmente la distribución territorial de cada riesgo clave en los casos en que éstos no presentan una homogeneidad geográfica. Asimismo, se hace énfasis en la actualización de la literatura y de las evidencias disponibles desde la publicación del estudio de "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" llevada a cabo en 2020.

La metodología seguida para la elaboración de los capítulos sectoriales sigue tres pasos. Inicialmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y una búsqueda de impactos históricos asociados a cada ámbito sectorial, con los que identificar los riesgos denominados genéricamente "riesgos relevantes"[1] del sector. A continuación, sobre este listado inicial de riesgos se ha aplicado un análisis multicriterio (AMC) basado en criterios análogos a los que establece el IPCC (p. ej. alcance espacial del riesgo, afección a la población, impacto económico, irreversibilidad, entre otros), para la selección de los denominados "riesgos clave"[2] sectoriales. Finalmente, se ha realizado un análisis más detallado de los riesgos identificados como clave. Este análisis abarca tanto los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad), como diversos aspectos transversales relevantes. Entre ellos se incluyen los efectos transfronterizos, los riesgos com-

[1] Se define riesgo relevante como aquel que tiene un potencial de generar consecuencias adversas significativas para sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio derivadas del cambio climático, directa o indirectamente.

[2] Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros y/o a la exposición/vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros (IPCC, 2022). En este estudio los riesgos clave se identifican de manera comparada intra-sectorialmente a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

puestos, impactos en cascada, y otros aspectos como la vulnerabilidad social o territorial frente al riesgo o posibles casos de maladaptación. Además, se indica la gobernanza existente y las principales carencias de información, entre otros aspectos.

Los capítulos sectoriales se estructuran en siete secciones. En primer lugar, se presenta una **introducción** que contextualiza el sector y define el alcance del análisis realizado. A continuación, se expone el **marco conceptual** de los riesgos derivados del cambio climático en el sector, incluyendo sus distintos componentes y la identificación de los riesgos más relevantes. Una vez identificados, estos riesgos clave se analizan en detalle mediante **cadenas de impacto, fichas específicas y un examen de sus interconexiones**, las cuales se desarrollan con mayor profundidad en el Capítulo de Riesgos Complejos**. Con carácter ilustrativo, se incorpora un caso de estudio** representativo que contribuye a visibilizar buenas prácticas y a promover el intercambio de conocimiento entre territorios. Posteriormente, el **apartado de limitaciones y particularidades metodológicas** recoge los principales déficits de información detectados y formula recomendaciones orientadas a su superación, con el fin de reforzar futuras evaluaciones. Finalmente, la **bibliografía** reúne las fuentes utilizadas en el análisis, garantizando la trazabilidad y verificación de la información presentada.

La metodología aplicada para la identificación y desarrollo de los riesgos ha sido desarrollada en conjunto entre los autores principales de la Evaluación, la Oficina Española de Cambio Climático y un Grupo Asesor de Expertos, y se puede encontrar descrita con más detalle en el Capítulo de Metodología.

Además, el presente capítulo incorpora notas a pie de página con definiciones de ciertos términos específicos del sector, mientras que el glosario de los términos más comunes del proyecto figura como un anexo al documento general de la ERICC.

2. Introducción

La pandemia de COVID-19 puso de manifiesto y agravó desigualdades estructurales ya existentes, al tiempo que evidenció la fragilidad de los servicios de salud y las cadenas de suministro de la Unión Europea —incluidas las de energía, productos médicos, alimentos y materias primas críticas— frente a perturbaciones externas. En el actual escenario de creciente competencia geopolítica y económica, y en un contexto de conflicto, estos sistemas se ven cada vez más expuestos a riesgos de manipulación y coerción económica. Paralelamente, la UE enfrenta una vulnerabilidad creciente ante los efectos del cambio climático, la degradación ambiental persistente y la posibilidad de nuevas pandemias. Europa, el continente que se calienta con mayor rapidez, ha sufrido desastres naturales cada vez más intensos y frecuentes, como inundaciones, sequías, incendios forestales, erosión costera, olas de calor, y tormentas. Si no se refuerza la capacidad estructural de nuestras sociedades para gestionar estos riesgos, los costos humanos, económicos y sociales del cambio climático seguirán aumentando. En este contexto, se vuelve cada vez más evidente la estrecha interrelación entre clima, medio ambiente y seguridad (European Commission, s. f.).

En la Estrategia de Seguridad Nacional (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021) se señala que los desastres naturales vinculados al cambio climático, como inundaciones e incendios forestales representan una amenaza cada vez mayor para la seguridad, debido al aumento tanto en su frecuencia como en su intensidad. Al mismo tiempo, la degradación ambiental, la reducción de la biodiversidad y el deterioro de los servicios ecosistémicos comprometen el acceso a recursos vitales, como el agua potable, exacerbando conflictos ya existentes, generando desplazamientos forzados y agravando la inseguridad alimentaria (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021). Por otro lado, se observa un crecimiento del negacionismo climático (Lázaro Touza *et al.*, 2024) y de los movimientos que se oponen a las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático, si bien la preocupación por el cambio climático sigue siendo alta (Flynn & Tovar Jardon, 2024; Vlasceanu *et al.*, 2024). Además, se subestima de manera generalizada la disposición de los ciudadanos a contribuir con parte de sus ingresos a hacer frente al cambio climático (Andre *et al.*, 2024), lo cual puede reducir la acción climática.

El nexo entre cambio climático y *paz, seguridad y cohesión social* está estrechamente vinculado con diversos sectores, como Energía, Agua y recursos hídricos, Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación, entre otros. El ámbito sectorial *Paz, seguridad y cohesión social* no es solo es generador de riesgos para estos sectores, sino también receptor de los impactos que se

producen en ellos[3]. Por ejemplo, interrupciones en el suministro de agua, energía u otros recursos debido a eventos hidrometeorológicos extremos pueden afectar la prestación de estos servicios, debilitando los lazos comunitarios y, en consecuencia, la cohesión social y la seguridad.

El ámbito sectorial también enfrenta impactos que van más allá de la escasez de recursos materiales, incluyendo fenómenos sociales como la movilidad humana tanto dentro del país como entre naciones (Felipe Pérez, 2021, 2022; Ghosh & Orchiston, 2022). En España ya se ha documentado la existencia de llegada de personas que han perdido sus medios de vida en sus países de origen debido a la intensificación de peligros climáticos como la sequía (Felipe Pérez, 2018). Asimismo, se ha registrado un elevado número de migraciones dentro del territorio español. Cabe destacar que tanto la movilidad interna como la internacional responden a múltiples factores, lo que dificulta atribuirlas de manera exclusiva a causas climáticas (Gamero Rus, 2014).

Tanto por incluir diversos sectores como por incidir en múltiples fenómenos sociales, el ámbito sectorial de la Paz, seguridad y cohesión social está expuesto a numerosos peligros climáticos. Su carácter transversal y su interconexión con diversas áreas lo hacen particularmente complejo, enfrentando impactos de distinta naturaleza derivados de múltiples riesgos climáticos. Por ejemplo, la seguridad de los medios de vida podría verse afectada por cualquier evento meteorológico extremo (incendios forestales (De Rigo *et al.*, 2017), sequías más frecuentes e intensas (Sanz & Galán, 2020), lluvias torrenciales e inundaciones fluviales, pluviales y costeras (EEA, 2024; Gobierno de Canarias, 2021)). De hecho, se prevé que estos impactos aumenten a mediano y largo plazo (Naumann *et al.*, 2021).

Además, cualquier factor que afecte la calidad de vida—ya sea en términos económicos o sociales—puede incidir en la cohesión social, en la violencia y en los conflictos armados (Lázaro Touza y Gómez de Ágreda, 2020). En este sentido, el impacto del cambio climático sobre los índices de pobreza es un factor clave: se estima que la pobreza se agravará aún más hacia 2050 (Kotz *et al.*, 2024) y nuevas investigaciones sugieren que las previsiones sobre cómo el calentamiento afectará a la economía mundial han sido demasiado optimistas (Neal *et al.*, 2025), lo que podría alterar las condiciones de seguridad de la ciudadanía.

El cambio climático también representa un problema de seguridad en la producción agropecuaria. Según las estimaciones de Cammalleri *et al.*, (2020), España sufre los mayores daños por sequía dentro de la Unión Europea, con pérdidas anuales promedio de 1.500 millones de euros que afectan

[3] El vínculo y los riesgos en cascada se visualizan claramente en las cadenas de impacto de los riesgos clave del presente capítulo. Además, la interacción entre riesgos clave de diferentes ámbitos sectoriales en relación a la Paz, seguridad y cohesión social se sintetiza en el Capítulo de Riesgos complejos.

a los sectores agrícola, energético y de suministro urbano. Incluso las variaciones en los patrones climáticos podrían modificar las zonas óptimas de producción, desplazándolas hacia el norte (EEA, 2024). Asimismo, el aumento de temperaturas en regiones mediterráneas podría alterar la aptitud agroclimática de cultivos tropicales (Sanz & Galán, 2020), impulsando migraciones climáticas y generando conflictos por el uso del suelo.

Por la amplitud de los impactos del ámbito sectorial solo se han mencionado algunos, pero se profundizará en ellos en el transcurso de este capítulo. En este sentido, el mismo incluye el análisis de riesgos asociados a movilidad humana, conflictos nacionales e internacionales por la escasez de recursos naturales, la destrucción de los medios de vida de las personas por eventos extremos, así como los riesgos derivados de la pérdida de cohesión social por impactos diferenciales del cambio climático en la población y aquellos derivados de las políticas para hacer frente al cambio climático, que pueden derivar en polarización social[4].

Con este amplio abordaje, se busca alinearse con el enfoque anticipatorio y basado en el análisis de hechos y datos objetivos establecido en la Estrategia de Seguridad Nacional (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021).

[4] Un 24 % de los encuestados en España indican que las políticas para hacer frente al cambio climático reducen su libertad (Lázaro Touza *et al.*, 2024).

3. Riesgos relevantes del ámbito sectorial de la paz, seguridad y cohesión social

Los riesgos más relevantes para el ámbito de la Paz, la seguridad y la cohesión social, derivados tanto del cambio climático como de las políticas destinadas a mitigarlo incluyen tanto los riesgos físicos como los riesgos de transición asociados al proceso de transformación hacia una economía con emisiones netas nulas (Carney, 2017). Destacan aquellos riesgos con un alto potencial de generar impactos adversos, afectando a las infraestructuras, a los mercados (de bienes y servicios, así como al mercado laboral), a la regulación y a las cadenas de suministro, a la provisión de servicios básicos, a la seguridad de las personas, a la igualdad y a la cohesión social. Estos riesgos surgen de la interacción dinámica entre peligros climáticos, elementos expuestos y vulnerabilidad. Además, pueden evolucionar con el tiempo y el espacio en respuesta a cambios socioeconómicos y decisiones humanas (Reisinger *et al.*, 2020). De acuerdo con la literatura científica, el ámbito sectorial se encuentra expuesto a una alta diversidad de **peligros climáticos**, entre los que destacan el aumento del nivel del mar (URBAN KLIMA, 2050), las inundaciones fluviales (EEA, 2024; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.-b), costeras (GRAFCAN, 2021; Marcos, M. *et al.*, 2021), las temperaturas elevadas y las olas de calor (Forzieri *et al.*, 2018), los incendios (Civio, s. f.; De Rigo *et al.*, 2017; Joint Research Centre, 2024), las sequías (CSIC, 2023; Fariza *et al.*, 2024; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024b), los deslizamientos de tierra (CEDEX, 2018), entre otras. Respecto a las heladas y nevadas, si bien tienen el potencial de producir un impacto sobre el ámbito sectorial, no son tan relevantes puesto que las proyecciones climáticas estiman que tenderán a reducirse a lo largo del siglo como consecuencia del aumento de las temperaturas (EEA, 2024).

El impacto de estos peligros varía según el elemento del ámbito sectorial que se analice (Paz y seguridad; o cohesión social). Sin embargo, la seguridad se concibe como una condición necesaria para la cohesión social (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021), por lo que los elementos expuestos están relacionados (aquellos riesgos que afecten a los elementos expuestos de la paz y la seguridad afectarán también a la cohesión social).

En este contexto, la **exposición del ámbito sectorial** se define por los elementos que resultan más directamente afectados por un determinado riesgo. En el ámbito de la seguridad y la paz, pueden identificarse dos grandes categorías de elementos expuestos:

- Por un lado, la seguridad del Estado, cuando el riesgo se manifiesta a través de conflictos internacionales o peligros que requieren una respuesta institucional y geopolítica.

- Por otro, la seguridad humana, entendida como la protección de las personas y su entorno físico, incluyendo bienes materiales, medios de vida, capital natural e infraestructuras críticas, cuando el riesgo incide de forma directa sobre estos componentes.

En segundo lugar, el otro elemento expuesto del ámbito sectorial es la propia cohesión social, la cual se refiere a los lazos sociales que articulan la vida en comunidad. En este caso, los riesgos relevantes son aquellos que erosionan o fracturan los vínculos entre individuos y grupos dentro de la sociedad civil, comprometiendo la estabilidad y la resiliencia social.

Es importante señalar que la definición de los componentes del riesgo en el ámbito de la seguridad presenta un alto grado de complejidad. Según la bibliografía más reciente en materia de seguridad y cambio climático, existen carencias en las conceptualizaciones de la evaluación de riesgos climáticos para la seguridad debido fundamentalmente a la complejidad de abordar la integralidad de los tres componentes del riesgo, a los vínculos complejos entre clima y seguridad y la comunicación de la incertidumbre (Šedová *et al.*, 2024). De hecho, la incorporación de la seguridad en cambios ambientales es una discusión relativamente reciente, siendo las primeras en la década del 80. Además, los análisis sobre la relación entre cambio climático y seguridad enfrentan dificultades para abordar cuestiones fundamentales, como identificar a quién debe protegerse (McDonald, 2024).

En cuanto a su **vulnerabilidad**, se analiza desde un punto de vista holístico, atendiendo a la aproximación de Eklund, *et al*. (2023) que comprende cinco dimensiones:

- La **dimensión físico-tecnológica** comprende todas las condiciones físicas de los sistemas humanos que pueden incrementar la vulnerabilidad de la sociedad frente a determinados riesgos. En este ámbito sectorial, esta dimensión de la vulnerabilidad se relaciona principalmente con dos factores. Por un lado, las características de las infraestructuras asociadas a servicios básicos para la población, así como su estado físico y su mantenimiento. Factores como la antigüedad de las infraestructuras, la frecuencia de mantenimiento y el diseño estructural influyen directamente en su nivel de vulnerabilidad. En segundo lugar, se relaciona también con la capacidad urbana: la disponibilidad de infraestructura y tecnología en las ciudades para albergar un mayor número de personas también incide en la vulnerabilidad.

- La **dimensión económica** abarca los factores económicos y financieros que influyen en la

resiliencia, incluyendo tres grandes tipos de factores: i) condiciones económicas de la población (factores como la pobreza y la desigualdad de ingresos y riqueza pueden incrementar la vulnerabilidad social); ii) capacidad financiera del Estado (un alto nivel de endeudamiento público podría dificultar la respuesta ante crisis climáticas y la escasez de recursos); iii) vulnerabilidad económica de actividades productivas específicas (por ejemplo, las economías basadas en recursos naturales o los sectores agropecuarios con baja diversificación productiva son más susceptibles a los impactos del cambio climático, lo que puede afectar a los costes producción, a la productividad agrícola, a la cadena de suministro, la degradación de los recursos naturales y la seguridad alimentaria). De hecho, según el capítulo de riesgos complejos, el ámbito sectorial Sistema financiero y actividad aseguradora y el ámbito de Paz, seguridad y cohesión social tienen un vínculo muy importante, siendo los riesgos clave de este sector generadores de impacto en los riesgos claves del primero y viceversa, lo que configura un escenario de bucle de retroalimentación[5].

- La **dimensión social** explica los factores que incrementan la vulnerabilidad desde un punto de vista colectivo o individual. Esto incluye, por ejemplo, condiciones como la desigualdad social y de género, la existencia de grupos altamente vulnerables y los conflictos sociales latentes o activos. Además, incluye la limitada capacidad de la sociedad civil para evaluar e incidir en las políticas públicas, así como la distribución asimétrica de impactos, que puede intensificar tensiones sociopolíticas, especialmente en contextos de cambio climático.

- La **dimensión ambiental** hace referencia a las condiciones del entorno que pueden amplificar los efectos de un peligro climático. En el caso de las sequías y su impacto en los medios de vida, la vulnerabilidad se acentúa en regiones naturalmente áridas y propensas a la desertificación. Asimismo, la existencia de ciertas actividades humanas, como el consumo ilegal de agua o la sobreexplotación de acuíferos, pueden intensificar los efectos negativos del cambio climático.

- Por último, la **dimensión de gobernanza** abarca tanto la capacidad institucional como la voluntad de las instituciones para implementar estrategias y planes de mitigación, adaptación y respuesta a las pérdidas y daños ocasionadas por el cambio climático. También incluye aspectos relacionados con la percepción y confianza en la administración pública. Por ejemplo, la desconfianza en las autoridades puede generar tensiones entre la sociedad civil y la administración (Tirado Sarti *et al.*, 2025), afectando la cohesión social. Asimismo, la existencia de conflictos entre distintos sectores puede dificultar la implementación de medidas de adaptación.

[5] Para mayor detalle de interacción entre riesgos clave dirigirse al Capítulo de Riesgos Complejos.

Al mismo tiempo, otros **factores de riesgo subyacentes** agravan la exposición y vulnerabilidad, que presenta el ámbito ante los peligros previamente descritos. En este ámbito se han identificado tres:

- **Riesgos políticos:** hacen referencia a posibles cambios en políticas, regulaciones, iniciativas de financiación pública o incentivos que respalden determinadas prácticas. Estos cambios pueden generar fricciones entre distintos sectores económicos, políticos o sociales.

- **Cambios demográficos:** se refieren tanto a los cambios en la población española, como a cambios en la distribución espacial y etaria de la población, que pueden conducir al incremento de tensiones territoriales (por ejemplo, la concentración de personas en entornos urbanos en detrimento de espacios rurales).

- **Eventos disruptivos:** son sucesos completamente atípicos e inesperados (p. ej. guerras, pandemias y eventos climáticos inesperados por su magnitud), los cuales se encuentran fuera del ámbito de lo esperado, de las expectativas habituales, y su impacto tiene una gran repercusión socioeconómica. De hecho, la Estrategia de Seguridad Nacional (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021) identifica la pandemia de la COVID-19 como un factor que ha producido una aceleración de las principales dinámicas globales que afectan a la seguridad.

La Figura 1 representa de forma esquemática todas las componentes previamente descritas: los peligros climáticos, los elementos más expuestos del ámbito ante dichos peligros, los diferentes factores de vulnerabilidad y otros factores subyacentes del riesgo. Este esquema sigue el marco establecido en la Guía técnica para una evaluación integral de riesgos y planificación en el contexto de cambio climático, desarrollada por la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2022). En general, este modelo conceptual facilita la comprensión, visualización y priorización de las distintas componentes y sitúa en el centro del marco los **riesgos relevantes** que caracterizan el sector[6].

[6] Dado el elevado número de interrelaciones entre sectores y las limitaciones de espacio, no ha sido posible explicitarlas en su totalidad. En su lugar, se han priorizado aquellas consideradas más relevantes. En el caso de los riesgos clave, la priorización se basó en el siguiente criterio: si un riesgo genera impactos en más de ámbito sectorial, según el análisis de riesgos complejos, dicho ámbito fue incorporado al modelo conceptual.

Paz, seguridad y cohesión social

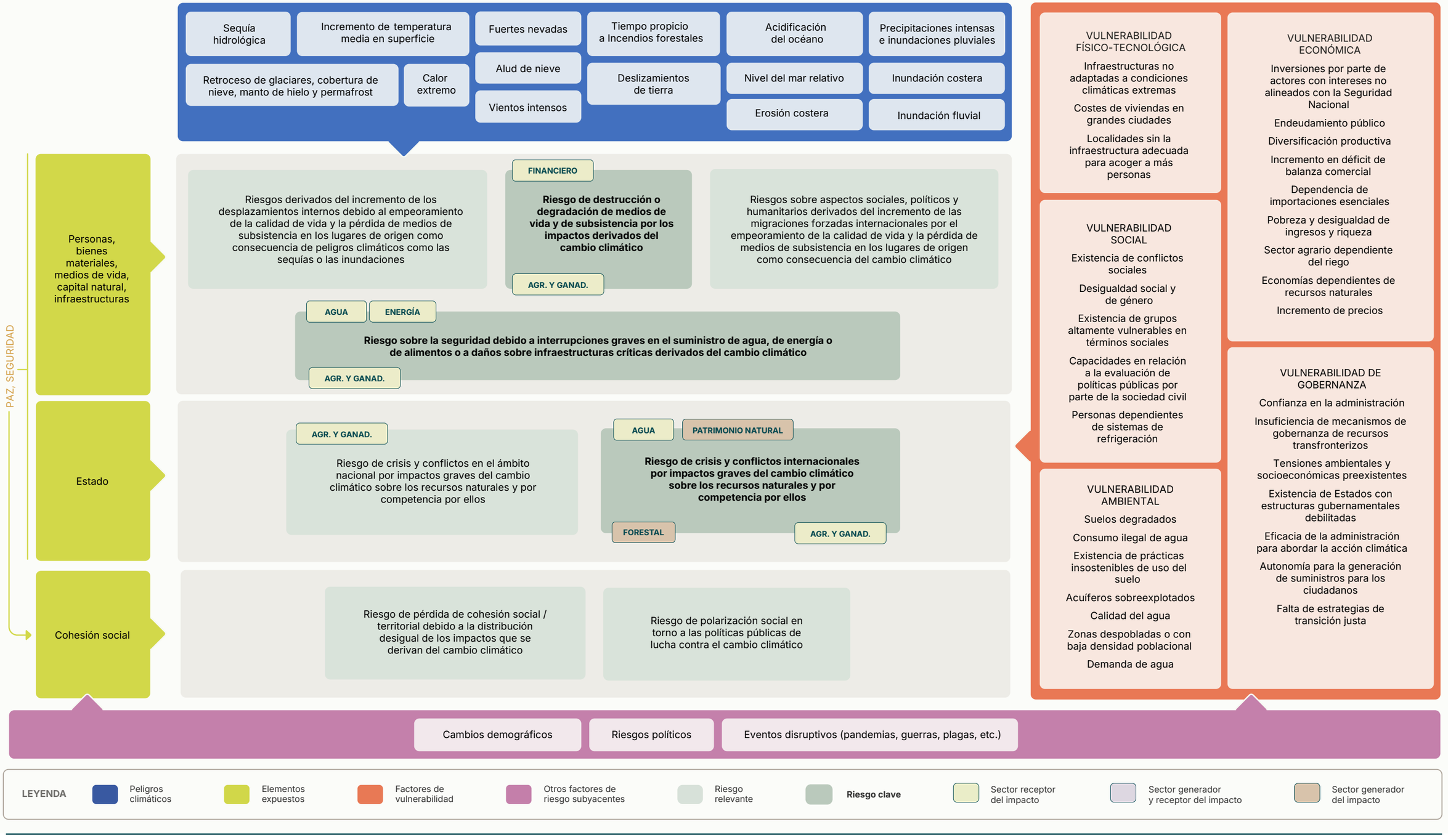


Figura 1. Modelo conceptual elaborado para el ámbito de Paz, seguridad y cohesión social. Fuente: basado en UNDRR, (2022).

Los riesgos relevantes identificados para el ámbito se resumen en la Tabla 1 y se describen a continuación:

Riesgos relevantes que impactan sobre las personas y su entorno físico

El primer riesgo identificado es el riesgo **derivado del incremento de los desplazamientos internos debido al empeoramiento de la calidad de vida y la pérdida de medios de subsistencia en los lugares de origen como consecuencia de peligros climáticos, como sequías o inundaciones** (Aguas, 2025; Castilla, 2024; Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021; Rüttinger *et al.*, 2015)**.** El mismo hace referencia a los impactos sociales, económicos y de seguridad que pueden surgir cuando las personas se ven obligadas a migrar dentro del país debido a condiciones climáticas adversas. Las sequías prolongadas, inundaciones recurrentes y otros eventos climáticos extremos pueden afectar gravemente la producción agrícola, la disponibilidad de agua y las oportunidades laborales, obligando a grupos de personas a trasladarse a zonas urbanas o a otras regiones en busca de mejores condiciones de vida (Milán-García *et al.*, 2021; Trombetta, 2014). Este desplazamiento podría generar presión sobre la infraestructura y los servicios básicos en los lugares de destino, aumentando la demanda de vivienda, empleo, salud y educación[7].

El segundo riesgo relevante identificado es el **riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático,** identificado en diversas fuentes bibliográficas (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). El mismo incluye los impactos que afectan a actividades productivas, particularmente agropecuarias (aunque también pesqueras, del sector turístico, manufacturero, entre otros), que puedan surgir debido a peligros climáticos como inundaciones, sequías, salinización del suelo, intrusiones marinas, entre otras. Este riesgo ha generado pérdidas económicas significativas en el pasado reciente en España. De hecho, solo la sequía de 2023 provocó pérdidas económicas valoradas en 5.500 millones de euros (Aon, 2025). Adicionalmente, en el año 2023 se ha decretado, mediante el Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo, que se adopten medidas urgentes en materia agraria y de aguas en respuesta a la sequía por unos 1.400 millones de euros (Real Decreto-ley sobre sequía, Ucrania, transporte público y riesgos laborales, 2023). En el mismo año, el 42,53 % de los siniestros registrados por el seguro agrario (Agroseguro, 2023) provinieron de sequías.

En tercer lugar, se ha seleccionado el **riesgo sobre aspectos sociales, políticos y humanitarios derivados de las migraciones internacionales forzadas por el empeoramiento de la calidad de vida y la pérdida de medios de subsistencia en los lugares de origen como consecuencia**

[7] Cabe aclarar que no se han documentado desplazamientos masivos en España.

del cambio climático (Castilla, 2024; Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021; Rüttinger *et al.*, 2015). El mismo hace referencia a los desafíos y conflictos que pueden surgir cuando las poblaciones se ven obligadas a abandonar sus países debido a condiciones ambientales extremas. Eventos como sequías prolongadas, desertificación, inundaciones y el aumento del nivel del mar pueden reducir la disponibilidad de recursos esenciales, como agua y alimentos, afectar economías locales y hacer inviables ciertos modos de vida, especialmente en regiones dependientes de la agricultura, la ganadería y la pesca. Ante esta situación, algunas personas se ven forzadas a emigrar a España en busca de mejores condiciones (Felipe Pérez, 2018). Si bien las migraciones climáticas son complejas de abordar porque es un fenómeno multicausal (Gamero Rus, 2014), el cambio climático es uno de los motivos y, considerando que los peligros climáticos se intensificarán en el futuro cercano (EEA, 2024), este fenómeno podría acrecentarse.

Por último, se ha identificado el **riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático** (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021; EEA, 2024), el cual hace referencia a los impactos provocados por eventos climáticos extremos que afectan el acceso a recursos esenciales y la operatividad de sistemas estratégicos. Las sequías prolongadas, las olas de calor, las tormentas intensas o las inundaciones pueden comprometer la producción y distribución de agua potable, electricidad y alimentos, generando desabastecimiento y afectando tanto a la población como a sectores clave de la economía. Asimismo, estos eventos pueden dañar infraestructuras críticas, agravando aún más la crisis y dificultando la respuesta ante emergencias (EEA, 2024).

Riesgos relevantes que impactan sobre el Estado

En este ámbito, y considerando los riesgos que impactan más directamente al Estado, el primer riesgo relevante identificado es el **riesgo de crisis y conflictos en el ámbito nacional por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.** Este riesgo ha sido documentado ampliamente en la bibliografía, por ejemplo, en el Documento del Alto Representante y de la Comisión Europea al Consejo Europeo "El cambio climático y la seguridad internacional" (Comisión Europea, s. f.) y en Rüttinger *et al.*, (2015). El mismo se refiere a la posibilidad de que los efectos del cambio climático—como sequías, desertificación, disminución de fuentes de agua y pérdida de tierras productivas—generen disputas y tensiones dentro del país. Estos conflictos pueden surgir entre comunidades o regiones que dependen de los mismos recursos naturales para su sustento y desarrollo. Por ejemplo, la escasez de agua puede generar conflictos entre territorios, especialmente en regiones donde los recursos hídricos son limitados. Los trasvases de agua, por ejemplo, el de Tajo-Segura, son un claro ejemplo de cómo la distribución de agua puede convertirse en un tema de disputa (Bono, 2023; Ministerio para la Transición Ecológica

y el Reto Demográfico, s. f.-c). Cualquier reducción en el suministro puede afectar gravemente la economía, los ecosistemas locales y acrecentar las tensiones entre los diferentes territorios.

Además, se ha identificado el **riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos** (Abel *et al.*, 2019; Burke *et al.*, 2015; Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021; Rüttinger *et al.*, 2015). El mismo hace alusión a la posibilidad de que los efectos del cambio climático—como la escasez de agua, la desertificación, la disminución de tierras cultivables y la reducción de recursos pesqueros—generen tensiones y disputas entre países. Este riesgo se intensifica cuando los recursos naturales críticos, como ríos transfronterizos, acuíferos compartidos o zonas marítimas ricas en pesca, se ven afectados, aumentando la competencia entre naciones por su acceso y control. La disminución de estos recursos puede exacerbar rivalidades históricas, dificultar acuerdos de cooperación y, en casos extremos, derivar en conflictos diplomáticos, sanciones económicas o incluso enfrentamientos armados.

Riesgos relevantes que impactan sobre la cohesión social

Se ha identificado como riesgo que afecta primeramente a la cohesión social el **riesgo de pérdida de cohesión social o territorial debido a la distribución desigual de los impactos que se derivan del cambio climático** (EEA, 2024)**.** El mismo se refiere a la posibilidad de que las diferencias en los impactos climáticos entre distintas regiones o grupos sociales generen fracturas dentro de una sociedad o entre territorios. El cambio climático no afecta por igual a todas las comunidades; su impacto depende de factores como la ubicación geográfica, la infraestructura disponible, la capacidad de adaptación y los recursos económicos. Algunas regiones pueden sufrir con mayor intensidad sequías, inundaciones o incendios forestales, lo que puede provocar pérdidas económicas, deterioro de medios de vida y desplazamientos forzados. De hecho, en un escenario de incremento de 2 ºC hacia el 2050 se espera que las comunidades del sur de España tendrán más costes económicos por eventos adversos y más muertes por temperaturas extremas (D'Apice *et al.*, 2024). Asimismo, una distribución desigual de los impactos puede agravar las disparidades económicas y acentuar tensiones entre áreas urbanas y rurales o entre regiones más y menos afectadas, debilitando la cohesión social y territorial (EEA, 2024). En el largo plazo, esto puede erosionar la confianza en las instituciones y aumentar la fragmentación política y social dentro de un país.

En segundo lugar, se ha identificado como riesgo relevante **el riesgo de polarización social en torno a las políticas públicas de lucha contra el cambio climático** (Comisión Europea, s. f.; Rüttinger *et al.*, 2015; United Nations, 2020), el cual se refiere a la posibilidad de que la implementación de medidas para mitigar y adaptarse al cambio climático genere divisiones y conflictos dentro de la sociedad, tanto entre distintos sectores de la sociedad civil como entre la ciudadanía y la admi-

nistración pública. Por un lado, pueden surgir tensiones entre sectores de la sociedad civil debido a diferencias en intereses económicos, ideológicos o territoriales. Por ejemplo, ciertas políticas ambientales pueden beneficiar a algunos sectores mientras afectan negativamente a otros, como regulaciones que limiten actividades extractivas o agropecuarias en favor de la conservación ambiental, generando oposición por parte de comunidades o industrias que dependen de estos sectores para su sustento (Heras, 2023). Por otro lado, pueden producirse tensiones entre la sociedad civil y la administración pública si las políticas climáticas son percibidas como injustas, ineficaces o impuestas sin la debida compensación a través de estrategias de transición justa que incluyan de manera continuada la participación ciudadana. El descontento con la distribución de costes y beneficios de las medidas o la sensación de que ciertas comunidades o sectores económicos cargan con un peso desproporcionado pueden generar protestas, resistencia y pérdida de confianza en las instituciones. Adicionalmente, en el pasado reciente se han presentado litigios por falta de acción climática (Climática, 2020), además de existir múltiples manifestaciones para reclamar más y mejores políticas públicas contra el cambio climático (WWF, 2023). Por último, se contemplan los conflictos que pueden surgir como consecuencia del negacionismo climático (Lázaro Touza *et al*., 2024), así como de la oposición social y política a las medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático (Flynn & Tovar Jardon, 2024).

Tabla 1. Listado de Riesgos Relevantes (RR) del ámbito de la paz, seguridad y cohesión social.

Id.	Subsistema	Riesgo Relevante	Riesgo clave
RR14.1	Estado	Riesgo de crisis y conflictos en el ámbito nacional por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.	-
RR14.2	Medios de vida, bienes materiales, capital natural, infraestructuras	Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.	RC14.1
RR14.3	Personas	Riesgos derivados del incremento de los desplazamientos internos debido al empeoramiento de la calidad de vida y la pérdida de medios de subsistencia en los lugares de origen como consecuencia de peligros climáticos como las sequías o las inundaciones.	-
RR14.4	Personas	Riesgo sobre aspectos sociales, políticos y humanitarios derivados de las migraciones internacionales forzadas por el empeoramiento de la calidad de vida y la pérdida de medios de subsistencia en los lugares de origen como consecuencia del cambio climático.	-
RR14.5	Cohesión social	Riesgo de pérdida de cohesión social / territorial debido a la distribución desigual de los impactos que se derivan del cambio climático.	-
RR14.6	Medios de vida, bienes materiales, capital natural, infraestructuras	Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.	RC14.2
RR14.7	Estado	Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.	RC14.3
RR14.8	Cohesión social	Riesgo de polarización social en torno a las políticas públicas de lucha contra el cambio climático.	-

4. Riesgos clave del ámbito sectorial de la paz, seguridad y cohesión social

Los Riesgos Clave (RC) son aquellos potencialmente graves que pueden traducirse en impactos en la actualidad y que pueden incrementar su severidad con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición y en la vulnerabilidad que presentan los elementos analizados ante dichos peligros. Para la identificación de los riesgos clave del ámbito de la paz, seguridad y cohesión social, los riesgos relevantes previamente descritos se sometieron a un proceso de priorización a través de la aplicación de un análisis multicriterio (AMC). Los criterios establecidos en el AMC tomaron como referencia los definidos por el IPCC (2022) y la escala establecida se inspiró en el marco empleado por el Reino Unido en su evaluación de riesgos (Betts & Brown, 2021) y en el estudio de los riesgos climáticos de Europa EUCRA (EEA, 2024).

La aplicación de dichos criterios al sector de la Paz, seguridad y cohesión social y la puntuación obtenida para cada riesgo relevante puede consultarse en detalle en el AMC. Las puntuaciones más altas se obtuvieron para los siguientes riesgos que son catalogados como “Riesgos Clave” y se analizan en profundidad en la siguiente sección:

- RR 14.2 Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático (RC14.1).

- RR14.4 Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático (RC14.2).

- RR14.6 Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos (RC14.3).

A continuación, se describen en profundidad cada uno ellos.

4.1. RC14.1. Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático

El primer riesgo clave de **destrucción o degradación de los medios de vida y subsistencia como consecuencia de los impactos del cambio climático** abarca la afectación de espacios físicos utilizados en actividades productivas, con especial atención a las repercusiones de los peligros climáticos en los sectores agropecuario, pesquero, turístico e industrial (JRC, 2025).

La Figura 2 representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y sobre él actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del sector o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

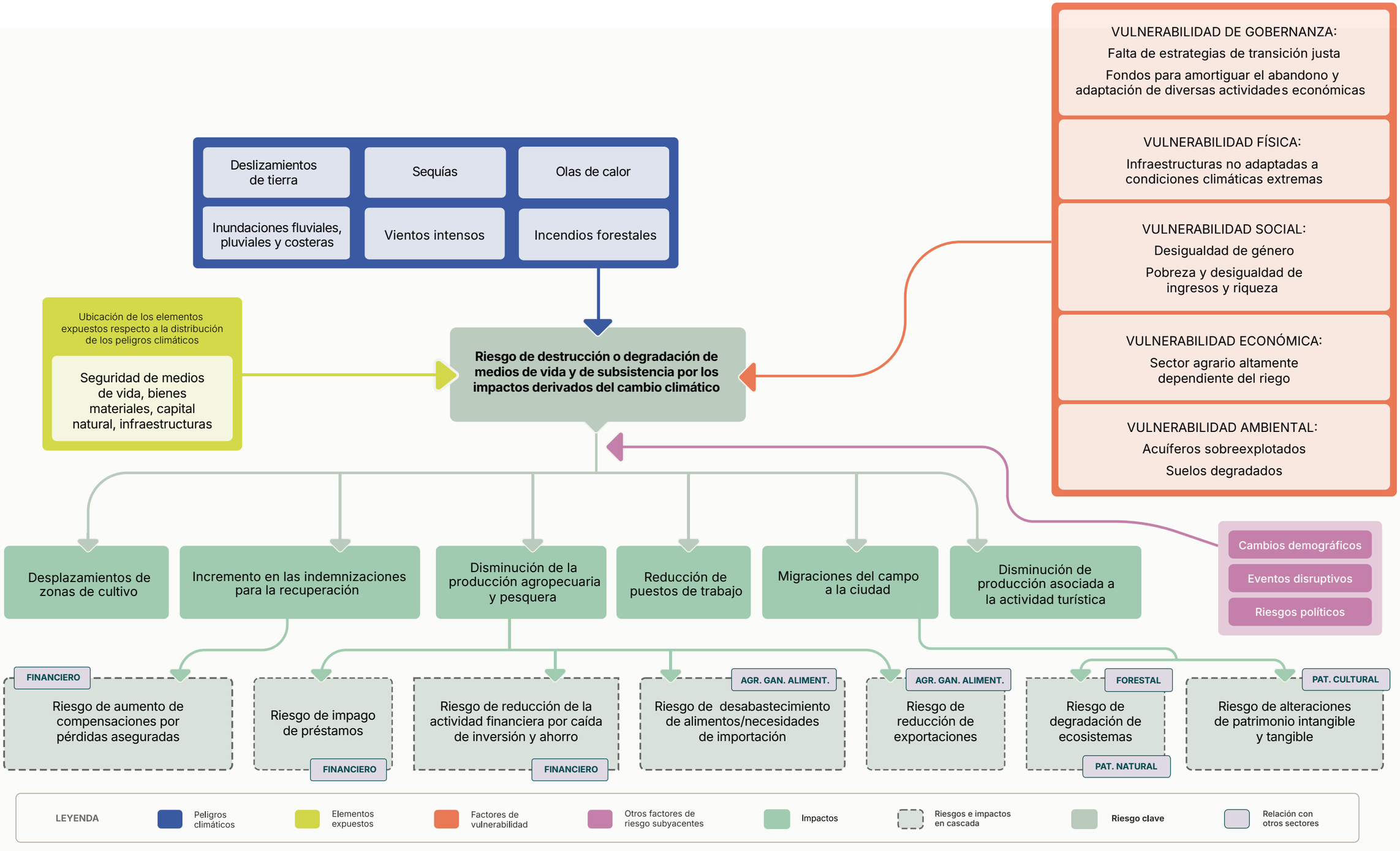


Figura 2. Cadena de impacto del riesgo clave de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.

Los efectos del cambio climático en los medios de vida de las personas ya se han manifestado en el pasado cercano y se exacerbarán (CEDEX, 2018; EEA, 2024). Algunos de los peligros que generan estos impactos son incendios forestales (De Rigo *et al*., 2017), aludes, lluvias torrenciales e inundaciones (Copernicus Climate Change Service (C3S) and World Meteorological Organization (WMO), 2025; EEA, 2024). Adicionalmente, se prevén incrementos sustanciales en las temperaturas y en la evapotranspiración potencial (AdapteCCa, s. f.; Copernicus Climate Change Service (C3S) and World Meteorological Organization (WMO), 2025) y una disminución de recarga neta de acuíferos (Pulido Velázquez *et al*., 2017), implicando aumentos del riesgo de sequía en casi todo el país (EEA, 2024; Sanz & Galán, 2020). Esto implica que podría disminuir el aprovechamiento hídrico por parte de cultivos. Además, en general, se prevé el incremento de los impactos en los medios de vida para el mediano y largo plazo (Naumann *et al*., 2021)[8].

Las sequías en Europa se han convertido en una de las principales causas de pérdidas y daños (Toreti *et al*., 2025). Como se mencionó previamente, la sequía de 2023 provocó en España pérdidas económicas estimadas en 5.500 millones de euros (Aon, 2025). En respuesta a esta crisis, el gobierno aprobó el Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo, destinando 1.400 millones de euros a medidas urgentes en materia agraria y de gestión del agua (Real Decreto-ley sobre sequía, Ucrania, transporte público y riesgos laborales, 2023). Ese mismo año, el 42,53 % de los siniestros registrados por Agroseguro (2023) fueron consecuencia de la sequía, lo que sugiere un posible aumento futuro en las compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agropecuario como consecuencia del incremento esperado de este peligro. Además, estos impactos pueden generar efectos en cascada, como el incremento de la necesidad de importación de alimentos o la reducción de las exportaciones para compensar una reducción en la producción (CES, 2024). De hecho, en 2023, la Federación Española de Industrias de Alimentación y Bebidas (FIAB, 2023) advirtió sobre el riesgo de escasez de productos debido a la sequía. A su vez, esta situación podría afectar la inversión y la innovación en el sector agropecuario debido a las pérdidas económicas sostenidas (La Información Económica, 2023) y a la incertidumbre regulatoria (CES, 2024). Puntualmente, el caso de la pérdida de medios de vida asociados al sector agropecuario puede tener consecuencias sobre la distribución geográfica de la población, dado que gran parte de las personas que pierden su medio de vida en entornos rurales migra hacia las periferias de las ciudades (El Observatorio Social, Fundación «la Caixa», 2022). Como resultado de este fenómeno se produce una concentración de personas en las grandes ciudades y sus áreas metropolitanas. Esto, a su vez, puede provocar la pérdida y transformación del patrimonio tanto tangible como intangible, ya que el conocimiento sobre prácticas agropecuarias deja de aplicarse y transmitirse a las futuras generaciones. En relación con el entorno natural, además, el abandono de espacios rurales y la falta de gestión podría implicar mayor degradación de tierras

[8] Aunque los medios de vida de las personas pueden verse afectados por diversos peligros señalados en la Figura 2, se han desarrollado en esta sección únicamente las más relevantes.

y desertificación, fenómeno de gran trascendencia actualmente, ya que la desertificación afecta en mayor o menor medida al 75 % del territorio nacional (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022). Por otro lado, la intensidad de los impactos se ve condicionada por la vulnerabilidad de las tierras a los cambios en las variables climáticas. De hecho, dos terceras partes del territorio español pertenece a las categorías árida, semiárida y subhúmeda seca (susceptibles de sufrir desertificación) (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s. f.-a).

Además de las características del sistema productivo o de las regulaciones sobre los recursos de los que dependen los medios de vida, las condiciones socioeconómicas de quienes trabajan en las producciones agropecuarias son un factor clave. Ante una catástrofe, las posibilidades de recuperación varían según los recursos disponibles. Dentro de este sector, las personas con menores ingresos, acceso limitado a la tierra, maquinaria e inversión son las más vulnerables y quienes sufrirán con mayor intensidad las consecuencias de los cambios (EEA, 2024).

Las inundaciones también constituyen una amenaza importante para los medios de vida. Solamente los comercios e industrias recibieron desde 1971 al 2022, 453.120.827 de euros y 378.407.600 de euros anuales respectivamente debido a indemnizaciones por inundaciones y tempestades ciclónicas atípicas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020a). En España se prevé un aumento de episodios de lluvias torrenciales e inundaciones en algunas zonas a pesar de preverse una reducción de las precipitaciones medias anuales. Las inundaciones, cuando son muy severas, pueden generar incluso el cese permanente de ciertos establecimientos: puntualmente, en el sector de la Industria, las inundaciones y otros peligros climáticos pueden generar el incremento de los costes operativos derivado de la necesidad acondicionar los dispositivos, y, como resultado de este impacto, podría perderse la competitividad de la actividad económica y derivar en el riesgo de cierre de la instalación[9]. Según informaciones periodísticas, más de 4.000 empresas ubicadas en las zonas de Valencia que se vieron afectadas por la dana de 2024 han solicitado el cese de actividad a la Seguridad Social. Además, según estimaciones del Consejo de Compensación de Seguros (2024), 1.165 millones de euros fueron pagados por seguros en comercios, almacenes, oficinas y para el abordaje de riesgos industriales. Por otro lado, cerca de 29.848 trabajadores se encontraban a finales de 2024 acogidos a un Expediente de Regulación de Empleo (ERTE) por fuerza mayor debido a la dana, con un total de 2.781 empresas solicitantes (Economía Digital Comunidad Valenciana, 2024).

Los efectos de las inundaciones y otros eventos climáticos extremos dependen en parte de las características del entorno físico, como la falta de infraestructuras adaptadas a condiciones climáticas severas. Sin embargo, su impacto también está determinado por factores como la capacidad

[9] Para profundizar en el impacto del cambio climático en el sector Industria y servicios remitirse al Capítulo 11 - Industria y servicios.

de adaptación de la propia actividad, la planificación urbana, la eficiencia en la gestión de riesgos de desastres por parte de diversos actores, entre otros.

Los peligros climáticos impactan directamente en los medios de vida, provocando la pérdida de ingresos e incluso forzando a muchas personas a cambiar de sector laboral. Esto evidencia cómo el cambio climático puede afectar el poder adquisitivo de la población (Kotz *et al.*, 2024). Según el Banco Interamericano de Desarrollo (Hoffmann, 2021), en la próxima década, el cambio climático podría empujar a 100 millones de personas a la pobreza a nivel global. En España, sus efectos podrían reducir la renta media entre un 20 % y un 30 % (Kotz *et al.*, 2024). Además, la disminución de la capacidad económica de las personas puede agravar las desigualdades socioeconómicas, lo que impacta negativamente en el crecimiento económico a largo plazo (OECD, 2015). Esta creciente disparidad también podría intensificar las tensiones sociales, aumentando la marginación y la exclusión social (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021).

Sigue en la página 1354

Ficha 1. Análisis del riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Catastrófica	Catastrófica	Catastrófica
	Sector agropecuario y pesquero Los impactos de la escasez de agua sobre los rendimientos agrícolas son heterogéneos por tipo de cultivo: entre un 20 % y un 30 %, en promedio, los rendimientos del trigo y la cebada, y al menos un 10 % los del olivar en los años 2022 y 2023 (Molina Vileya & Pacce, 2025). El aumento de la temperatura, la acidificación y la reducción del oxígeno en el Mediterráneo, Canarias y el Atlántico peninsular están provocando cambios en la distribución, abundancia y migración de peces, lo que reduce el potencial pesquero y acuícola (García León & Ciscar, 2022). **Sector industrial y agrícola** Según la Confederación Empresarial de la Comunitat Valenciana (CEV,	CES (2024) identifica pérdidas del PIB de más del 9 % en 2030 y de más del 12 % en 2040 en un escenario de políticas actuales en contraste con un escenario (hipotético) sin cambio climático. En un escenario de emisiones netas nulas, la reducción del PIB es menor: alrededor del 8 % en 2030 y 2040, en contraste con un escenario sin cambio climático (CES, 2024). Existen otras proyecciones, por ejemplo, el informe PESETA IV que estima las pérdidas a nivel europeo, solo por sequias, en 9700 millones de euros. Esta cifra supone un incremento medio del 7 % y, en el caso de España, se traduce en aproximadamente	CES (2024) identifica pérdidas del PIB de más del 14 % en 2050 en un escenario de políticas actuales en contraste con un escenario (hipotético) sin cambio climático. En un escenario de emisiones netas nulas el PIB se reduce más de un 7 % en 2050 en contraste con un escenario sin cambio climático (CES, 2024). El informe PESETA IV (Cammalleri *et al.*, 2020) estima que las pérdidas anuales medias por sequía en Europa, bajo condiciones económicas comparables a las de 2015, ascenderán a 12.200 millones de euros. Esta cifra supone un incremento medio cercano al 35 % y, para España, equivale a	Las pérdidas del PIB per cápita en 2100 se estiman entre 0,43 % (RCP2.6) y 6,39 % (RCP8.5) (Kahn *et al.*, 2019). Por otro lado, otras fuentes indican pérdidas del 46 % del crecimiento del PIB per cápita en 2100, escenario RCP8.5, en comparación con un escenario sin cambio climático (Burke *et al.*, 2015). Desde el estudio PESETA IV (Cammalleri *et al.*, 2020), se calcula que, bajo condiciones económicas similares a las del año 2015 y un aumento de temperatura de 3 °C, las pérdidas anuales promedio por sequías en Europa ascenderían a 17.300 millones de euros. Este valor supone un aumento del 90,7 % en comparación con las pérdidas actuales. En el caso de España, las

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	2025), como consecuencia de la dana de 2024, los daños sobre el tejido productivo están valorados en 13.705 M € (20 % del PIB de la provincia de Valencia y 0,9 % del PIB nacional), de los que 4.504 M € corresponderían a Industria y 1.380 M € a Agricultura.	1.600 millones de euros, equivalentes al 0,11 % del PIB[10]. **Sector agropecuario y pesquero** Se estima que las pérdidas anuales por sequía en la agricultura podrían alcanzar alrededor del 5 % del valor añadido bruto (VAB) en regiones del Sur de España (Motta *et al.*, 2025). **Sector turístico** Se estima que puede haber una reducción de 0,21% en pernoctaciones (García-León *et al* 2025) y alrededor de 99 millones de euros en pérdidas (aproximación propia).	aproximadamente 2.025 millones de euros, es decir, un 0,14 % del PIB[11]. **Sector agropecuario y pesquero** La producción de maíz podría colapsar alrededor del 2050 en ausencia de irrigación adecuada, con disminuciones de rendimiento superiores al 80 % (Feyen *et al.*, 2020). Las proyecciones estiman pérdidas de hasta 10 % VAB (Motta *et al.*, 2025; Rossy *et al.*, 2023; EEA, 2024).	pérdidas podrían alcanzar los 2.860 millones de euros, lo que equivale al 0,19 % de su PIB[12]. **Sector agropecuario y pesquero** Las pérdidas podrían alcanzar hasta el 15 % del VAB agrícola en ciertas regiones, especialmente en la zona mediterránea (Motta *et al.*, 2025). **Sector turístico** Según proyecciones bajo el escenario RCP8.5, se estima una reducción de la demanda turística entre el 0,31% y el 3,14 % para 4 °C respectivamente) (Matei *et al.*, 2023).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[10] Se ha calificado como catastrófica, dado que el porcentaje de pérdida del PIB estimado por Cammalleri ***et al***. (2020) corresponde únicamente a pérdidas por sequías, es decir, a un subconjunto de las pérdidas totales derivadas de todos los eventos extremos posibles.

[11] *Ibídem.*

[12] *Ibídem.*

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
		Sector industrial Según Forzieri *et al*. (2018), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2011–2040 serían de 3.988 M €, debiéndose casi la mitad a sequías (48,3 %).	**Sector turístico** Se estima que puede haber una reducción del 0,63 % en pernoctaciones (García-León *et al* 2025) y alrededor de 299 millones de euros en pérdidas (aproximación propia). **Sector industrial** Según Forzieri *et al*. (2018), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2041–2070 serían de 8.695 M €, debiéndose la mayor parte a sequías (57,5 %).	Además, se prevé una caída del 3,73 % en las pernoctaciones (García-León *et al*., 2025), lo que podría traducirse en pérdidas económicas de cerca de 1.771 millones de euros (estimación propia). España podría sufrir una reducción de ingresos turísticos equivalente a una caída del PIB de entre el 0,6 % y el 0,7 %, cifra notablemente superior a la estimada para Europa en su conjunto (≈0,2 %) (García León & Ciscar, 2022). **Sector industrial** Según Forzieri *et al*. (2018), los daños esperados en las infraestructuras críticas industriales de Europa para el periodo 2071–2100 serían de 16.237 M € (entre 9.900 y 22.500 M €), atribuyéndose especialmente a sequías (56,2 %).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Media · Medio	· Media · Bajo	· Media · Bajo	· Alta · Bajo
	CES (2024) es una publicación oficial; hay una cobertura parcial del territorio nacional. Además, la calidad de la información varía por sector productivo (publicaciones oficiales y académicas). Por último, no hay datos de impactos para todas las formas de medios de vida.	CES (2024) es una publicación oficial. Sin embargo, la calidad de la información es alta en los sectores productivos (publicaciones académicas). Por último, hay debate con respecto a los impactos macroeconómicos del cambio climático.	CES (2024) es una publicación oficial. Sin embargo, la calidad de la información es alta en los sectores productivos (publicaciones académicas). Por último, hay debate con respecto a los impactos macroeconómicos del cambio climático.	Burke *et al* (2015) es una publicación revisada por pares y pertenece a una revista científica. Además, la calidad de la información es alta en los sectores productivos (publicaciones académicas). Por otro lado, hay debate con respecto a los impactos macroeconómicos del cambio climático.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Sequías. • Olas de calor. • Inundaciones fluviales, pluviales y costeras. • Incendios forestales. • Deslizamientos de tierra. • Vientos intensos.	Seguridad de: • Medios de vida. • Bienes materiales. • Capital natural. • Infraestructuras.	• Infraestructuras no adaptadas a condiciones climáticas extremas. • Desigualdad de género. • Pobreza y desigualdad de ingresos y riqueza. • Localidades dependientes de actividades económicas concretas (turismo, pesca, agricultura). • Suelos degradados. • Acuíferos sobreexplotados. • Falta de estrategias de transición justa. • Fondos para amortiguar el abandono y adaptación de diversas actividades económicas.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	Los eventos climáticos extremos podrían reducir los rendimientos de cosechas, interrumpir las cadenas de suministro o dañar infraestructuras críticas (puertos, carreteras o aeropuertos) y afectar al volumen de exportaciones (CaixaBank Research, 2024). Estas interrupciones y daños podrían aumentar costes de transporte e incrementar los precios de los productos exportados e importados. Además, los impactos provocados por el cambio climático pueden reducir la capacidad de producción agrícola del país, lo que incrementaría la necesidad de recurrir a importaciones para asegurar el suministro de alimentos (CES, 2024).
Territoriales	Las consecuencias adversas a los medios de vida podrían afectar especialmente a las zonas más despobladas, menos prioritarias a la hora de reparar los daños (EEA, 2024). Adicionalmente, el impacto económico puede ser mayor en territorios donde el peso del sector agrario (afectado más directamente por los cambios en el clima) es mayor que la media del territorio español, por ejemplo, en zonas vitivinícolas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Sociales	Grupos sociales que se verán expuestos de forma desigual: • Colectivo pymes de menor tamaño y con menor cifra de negocios que puedan sufrir interrupción en su producción por cese de suministros. • Población con menos recursos debido a un potencial incremento de los precios de productos debido a la interrupción de cadenas de suministros derivadas del riesgo clave. • Personas que dependen económicamente del sector agropecuario (Sanz & Galán, 2020). Dentro de este sector, quienes enfrentarán las mayores dificultades serán aquellas personas con menos recursos, acceso limitado a la tierra, maquinaria y posibilidades de inversión, ya que estarán en una posición más vulnerable ante los cambios.
Maladaptación	La expansión del riego en zonas de escasez hídrica sin planificación ni coherencia con la previsión actual y futura en la disponibilidad del recurso hídrico podría ser una medida de maladaptación.
Género	• La tasa de pobreza entre las mujeres (20,8 %) es más elevada que entre los hombres (19,5 %) (Alguacil *et al.*, 2024), siendo los grupos de edad más afectados de mujeres los mayores de 16 años (INE, 2023). Un incremento en los precios por la interrupción de cadenas de suministros derivadas del riesgo clave descrito podría llevar a un aumento en la desigualdad en género. • Según informes como el de García (2016) el 80 % de los refugiados climáticos son mujeres, quienes enfrentan mayores dificultades derivadas de las temperaturas extremas y los desastres naturales que, en muchos casos, han generado pérdida de sus medios de vida. De hecho, a nivel global, hay 122 mujeres de entre 25 y 34 años viviendo en pobreza extrema por cada 100 hombres de la misma edad (Velasco *et al.*, 2020).

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	No se han encontrado referencias bibliográficas que identifiquen umbrales a partir de las cuales es más posible que el riesgo se incremente.
Lock-in/Bloqueo	La construcción o la renovación de las infraestructuras dañadas sin tener en cuenta la evolución de los peligros climáticos en su diseño puede limitar la capacidad de respuesta y de adaptación de la instalación. Por ejemplo, tras la reconstrucción de instalaciones pesqueras sin considerar el aumento del nivel del mar podrían quedar expuestas a marejadas o erosión costera, afectando la pesca artesanal.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Como las políticas, planes y normativas aplicadas a paliar pérdidas y daños de medios de vida por el impacto del cambio climático y eventos extremos son múltiples y muy diversos, se listarán solo algunos de ellos: • PNACC 2021-2030. • Reales Decretos por los que se adoptan medidas urgentes para paliar los daños producidos en el sector agrario por la sequía y otras adversidades climáticas. Por ejemplo, el Real Decreto-ley 18/1981, de 4 de diciembre, sobre medidas excepcionales para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, escasos a consecuencia de la prolongada sequía. • Reales Decretos por los que se adoptan medidas para paliar daños de inundaciones. Por ejemplo, el Real Decreto-ley 5/1983, de 1 de septiembre, sobre medidas urgentes para reparar los daños causados por las recientes inundaciones en el País Vasco, Cantabria, Asturias, Burgos y Navarra. • Planes de Gestión de los Riesgos de Inundación. • Plan Estatal General de Emergencias de Protección Civil. • Sistema Automático de Información Hidrológica. • Programa Nacional de Preparación en incendios forestales. • Documento EAPN-ES Doce medidas por una Europa con derechos libre de pobreza. • Pacto Estatal de Lucha contra la Pobreza. • Plan Nacional de Acción para la Inclusión Social.
Gobernanza de gestión del riesgo	• Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). • Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). • Comunidades autónomas (CCAA). • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). • Ministerios de Igualdad y Derechos Sociales. • Consejo de Seguridad Nacional y Consejo Nacional de Protección Civil. • Red de Alerta Nacional y Centro Nacional de Seguimiento y Coordinación de Emergencias de Protección Civil. • Grupo Español de Inundaciones. • Comité de Lucha contra Incendios Forestales. • Comisión Permanente de Adversidades Climáticas y Medioambientales. • Grupo de Trabajo de Impactos y Adaptación. • Comité de Impactos, Riesgos y Adaptación.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Mejora en la resiliencia frente a los eventos extremos. • Reducción de costes de mantenimiento. • Incremento en los rendimientos agropecuarios. • Arraigo rural.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Si las obras de adaptación implican la pérdida o alteración de ecosistemas costeros (por ejemplo, humedales), se podría reducir su capacidad para actuar como sumideros de carbono. • Instalaciones como sistemas de bombeo contra inundaciones, barreras móviles o sistemas de refrigeración adicionales para proteger equipos pueden incrementar significativamente el consumo energético del establecimiento.
Déficits de información	• No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales impactos en cascada identificados. • La información relativa al alcance espacial del riesgo, su impacto sobre la población y economía es escasa.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

4.2. RC14.2. Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático

El **riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático** hace referencia a los impactos provocados por diferentes eventos climáticos extremos a infraestructuras críticas y/o de prestación de servicios de agua, energía o alimentos por diferentes peligros del cambio climático.

Este riesgo se refiere (si se excluyen los daños sobre infraestructuras críticas), de manera más específica, a las afectaciones de la seguridad hídrica, energética y alimentaria. La seguridad hídrica puede definirse como la capacidad de una sociedad para garantizar el acceso sostenible a volúmenes adecuados de agua de calidad aceptable para diversos usos, así como para protegerse frente a la contaminación hídrica y los desastres relacionados con el agua (UN Water, 2013). Por su parte, la seguridad energética no solo implica disponer de un suministro continuo de energía, sino también asegurar que dicho acceso se produzca a precios asequibles y de forma equitativa (IEA, 2022). En cuanto a la seguridad alimentaria, esta se entiende como una situación en la que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos, que satisfacen sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias, permitiéndoles llevar una vida activa y saludable (de Pee, 2013). En consecuencia, este riesgo engloba la posible pérdida de seguridad hídrica, energética o alimentaria (así como el daño sobre infraestructuras críticas), como resultado de interrupciones graves en el suministro de alguno de estos recursos esenciales provocadas por peligros climáticos. La **Figura 3** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y sobre él actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del ámbito sectorial de Paz, seguridad y cohesión social o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

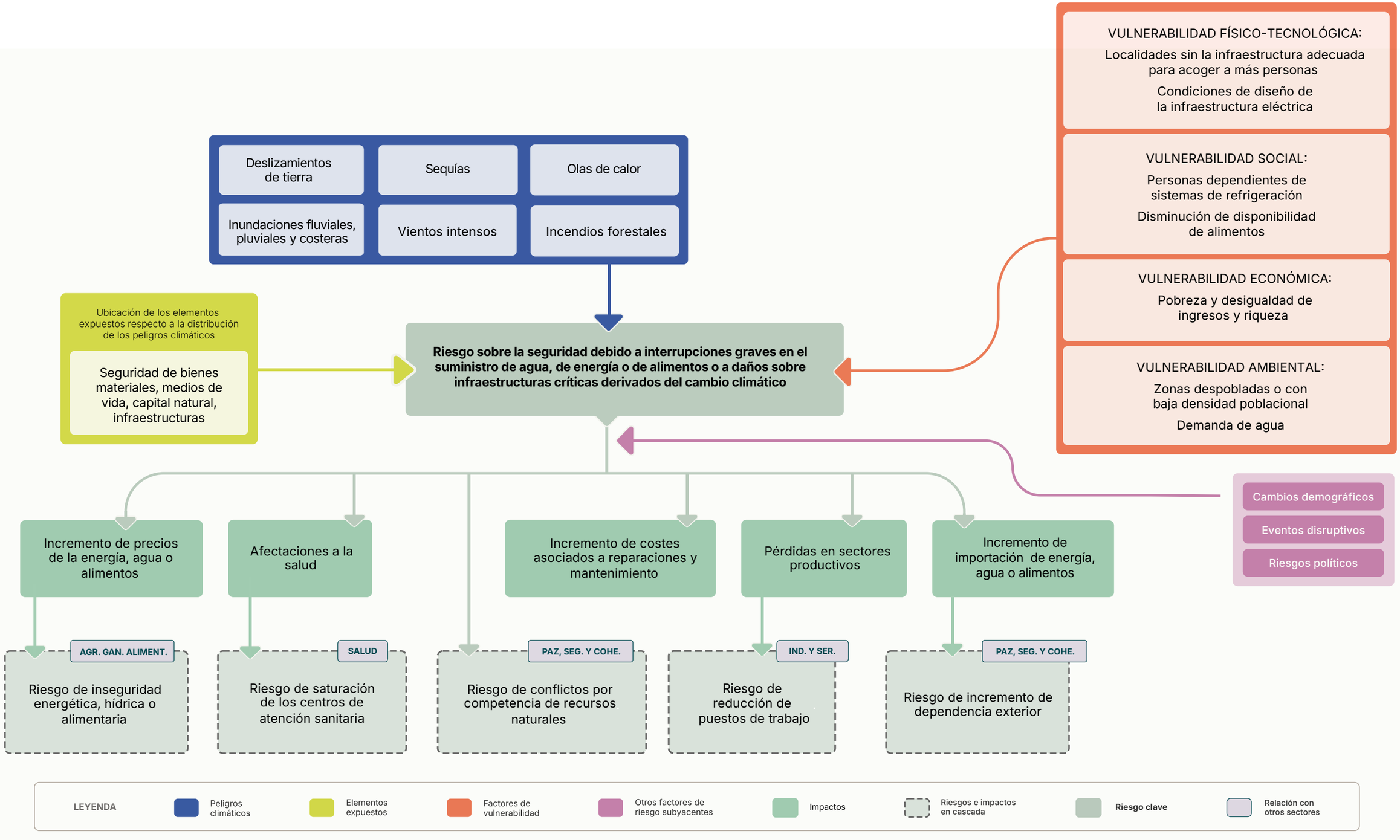


Figura 3. Cadena de impacto del riesgo clave sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.

Las infraestructuras críticas, que abarcan sectores como la energía, la alimentación, el agua y las telecomunicaciones[13], son susceptibles a daños generados por fenómenos climáticos como olas de calor, inundaciones fluviales y costeras, y deslizamientos de tierra (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021; Ley de infraestructuras críticas, 2021). En los últimos años, se ha registrado un aumento de los impactos sobre estas infraestructuras debido a eventos climáticos extremos, como vientos intensos, heladas, inundaciones y precipitaciones extremas, lo que ha afectado a las actividades socioeconómicas en diversas regiones de España. Sin embargo, cabe destacar que, al menos en la última década en el País Vasco, las infraestructuras críticas de energía han registrado mayores impactos históricos (debido fundamentalmente a inundaciones y vientos intensos) que las infraestructuras críticas de alimentos, agua y telecomunicaciones (Naturklima, 2022).

Entre ellas, las infraestructuras de telecomunicaciones revisten gran importancia, debido a la alta dependencia actual a las tecnologías digitales. Si bien los impactos del cambio climático bajo diferentes escenarios de emisiones no han sido calculados para España en este sector, se conoce que a nivel mundial existirán daños significativos: solo para las inundaciones costeras, el número de celdas de cobertura de antenas o repetidores potencialmente afectadas en un evento con una probabilidad anual del 0,01 % bajo RCP8.5 es de 109,9 millones de dólares, lo que equivale a unos costes directos de daños de 2,69 mil millones de dólares (un incremento del 70 % y el 78 % respecto a la actualidad, respectivamente) (Oughton *et al.*, 2023).

Los daños de las infraestructuras críticas se traducen en un incremento de costes asociados al mantenimiento de estas. La situación es más crítica cuando las infraestructuras no se encuentran adaptadas a condiciones climáticas extremas. En general, las consecuencias adversas para las infraestructuras críticas podrían impactar de manera más significativa a las zonas con menor densidad de población, ya que suelen recibir una menor prioridad en los procesos de reparación de daños (EEA, 2024).

Los efectos en ciertas infraestructuras críticas impactan la provisión de servicios esenciales (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021; EEA, 2024), interrumpen el flujo de personas y bienes y provocan diversas repercusiones económicas. La interrupción de las cadenas de suministro, a su vez, genera pérdidas y afecta a sectores clave como la manufactura (pudiendo generar incluso pérdida de puestos de trabajo), la construcción, la banca y los seguros, así como la producción y distribución de bienes (EEA, 2024).

[13] Se ha limitado el análisis de las infraestructuras críticas, excluyendo algunos tipos —como las de transporte, residuos, instalaciones de investigación, espacios sociales, entre otras— con el fin de acotar el ámbito de estudio y reducir el alcance del riesgo.

Los servicios de suministro de energía se ven afectados por fenómenos extremos como incendios forestales, sequías intensas y lluvias torrenciales (EEA, 2024), fenómenos que pueden afectar a la producción, como ya se ha registrado anteriormente, y que, ante los incrementos en la intensidad de la amenaza, pueden exacerbarse. Además, se prevén múltiples impactos por calor en la producción, transmisión y demanda de energía. De hecho, según EUCRA, los incrementos de los riesgos de interrupción del suministro por olas de calor son más altos en el sur de Europa (EEA, 2024a).

Ante estas repercusiones en la producción de electricidad podrían generarse cortes que afectarían a áreas críticas como telecomunicaciones, infraestructura sanitaria y otros sectores esenciales (EEA, 2024). Por ejemplo, durante una ola de calor severa, la falta de suministro energético podría impedir el uso de sistemas de refrigeración vitales para personas electrodependientes, lo que elevaría las tasas de mortalidad y morbilidad y podría generar crisis en los centros de atención sanitaria[14] (EEA, 2024; Pérez, 2023). En esta situación, los colectivos más vulnerables serían las personas mayores, las infancias (UNICEF, 2024) o aquellas con enfermedades previas (Carr *et al*., 2023). Además, para suplir la demanda, podría ser necesario aumentar las importaciones de energía, lo que incrementa la dependencia exterior.

Por otro lado, el desabastecimiento energético podría generar un incremento de los precios de la energía, lo que agravaría situaciones de pobreza energética, afectando principalmente a las personas con bajos ingresos (Asociación de Ciencias Ambientales, 2018). Además, las pérdidas económicas en los sectores hídrico y energético también se podrían traducir en incrementos de precios y afectaciones en el suministro de ambos recursos.

En cuanto a la vulnerabilidad territorial, si bien las instalaciones susceptibles se distribuyen por todo el país, se estima que el noroeste de España podría experimentar en el futuro mayores fluctuaciones en la demanda eléctrica. Esta proyección se debe a la posible evolución de sus tradicionales veranos templados hacia condiciones más extremas, aunque con un aumento térmico menos pronunciado que en otras regiones (Pérez, 2023).

En cuanto al suministro de agua, se prevé que las sequías, que ya están aumentando en frecuencia y severidad, se vuelvan cada vez más frecuentes y severas, afectando la disponibilidad hídrica. En España, las sequías de corta duración (de 2 a 5 años) serán más frecuentes a medida que avance el siglo XXI (CEDEX, 2017) y diversas fuentes prevén aumentos del riesgo de sequía en casi todo el país (EEA, 2024). Además, se estima que las cuencas andaluzas, Baleares y Canarias

[14] Para la profundización de las consecuencias de la interrupción del servicio de provisión de energía por incremento en la demanda referirse al RC9.3 "Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas" del Capítulo 9 – Energía.

experimentarán reducciones significativas de caudal (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020b), lo que impactará la producción hidroeléctrica tanto a corto como a largo plazo (TECNALIA, 2021). De hecho, la reducción del potencial hidroeléctrico podría ser cercana al 5 % respecto al periodo 1971-2000 en el escenario a corto plazo y de 15 %-20 % para un calentamiento de 3 °C, respecto al periodo 1971-2000[15] (Tobin, y otros, 2018). Sin embargo, cabe destacar que la presión sobre los recursos hídricos es considerablemente mayor en las cuencas situadas en la mitad sur de la península en comparación con las del norte (Murillo *et al.*, 2023; Solaun & Cerdá, 2017).

La disminución de recursos hídricos es de particular importancia ya que la energía hidroeléctrica ha cubierto en los últimos años entre un 7 % y un 13 % de las necesidades de electricidad del país (REE, 2024).

Solo en 2023, aproximadamente 9 millones de personas fueron afectadas por restricciones en el uso del agua debido a la escasez provocada por condiciones climáticas extremas (Planelles & Fariza, 2023). Según proyecciones, para 2050, se estima que el 75 % de la población en España podría enfrentar graves problemas relacionados con la escasez de agua, siendo las ciudades de Sevilla, Granada, Córdoba y Murcia algunas de las más vulnerables en Europa (WWF, s. f.). Sin embargo, existen algunos factores de vulnerabilidad que hacen más condicionantes del acceso al agua, entre ellos: el mal estado de las fuentes de agua, la deficiencia en los sistemas de distribución de agua, la falta de disponibilidad de recursos alternativos, los elevados índices de explotación, entre otras[16].

En cuanto a la disminución de suministros de agua, las personas más vulnerables son aquellas cuyas actividades económicas y medios de vida dependen directamente de los recursos hídricos, como los trabajadores del sector agropecuario, que es inherentemente vulnerable a las sequías (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024a).

Por otro lado, la disminución del abastecimiento del servicio de agua podría afectar el suministro de alimentos. En un escenario en el que se prolongue la situación de inaccesibilidad a alimentos, se podría contribuir al aumento de la malnutrición, con deficiencias o excesos de micronutrien-

[15] Para la profundización de las consecuencias del cambio climático en la energía hidroeléctrica referirse al "RC9.1: Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos" del capítulo del ámbito sectorial de Energía.

[16] Para profundizar en los factores de vulnerabilidad que inciden sobre el acceso al agua remitirse a la cadena de impactos del RC3 del Capítulo 2 - Agua y recursos hídricos: "Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes".

tes, así como sobrepeso, obesidad y enfermedades no transmisibles relacionadas con la dieta, como cardiopatías, diabetes y ciertos tipos de cáncer (Sanz & Galán, 2020). En este escenario, las personas con menores ingresos son las más vulnerables frente al desabastecimiento (Cruz Roja, 2024), especialmente aquellas expuestas a la fluctuación de los precios.

De hecho, se encuentra ampliamente documentado que los impactos del cambio climático sobre la producción agropecuaria provocan un aumento en los precios de los alimentos, constituyendo este fenómeno el segundo efecto del cambio climático más citado a nivel global. En general, se debe principalmente a olas de calor, sequías y precipitaciones extremas (Kotz *et al.*, 2025). Paralelamente, el incremento en los precios de los recursos podría agudizar las desigualdades y tensiones sociales. De hecho, ante el déficit del recurso hídrico, podrían generarse tensiones entre sectores de una misma cuenca que compitan por este recurso (RR14.1[17]). En España, los conflictos por el uso del agua se dan en la mayoría de las comunidades autónomas del centro-sur.

Por ejemplo, en Andalucía, se presenta con gran relevancia el conflicto en el Parque Nacional Doñana: los cultivos intensivos en riego (fresas, frutos rojos y cultivos subtropicales como aguacate y mango) demandan agua de acuíferos que abastecen al humedal, mientras que, por otro lado, otros sectores que defienden la sostenibilidad del recurso hídrico pujan para la prohibición de este aprovechamiento (Gamaza, 2023; Martín-Arroyo, 2022). En Almería también se han presentado conflictos por el uso del agua por parte de invernaderos, situación denunciada en numerosas ocasiones por parte de organizaciones socioambientales (Ecologistas en Acción, 2024).

[17] Riesgo de crisis y conflictos en el ámbito nacional por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.

Ficha 2. Análisis del riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Crítica	Crítica	Crítica	Catastrófica
	El coste de un apagón en España de un día de duración[18] está estimado en 800 millones de euros por el Ministerio de Economía y 1.600 millones de euros por la CEOE[19] (Dobetter, 2025), lo que implica un 0,1 % del PIB (lo que implicaría severidad sustancial si solo hay uno al año). Actualmente hay interrupciones ocasionales del suministro en líneas muy congestionadas (EEA, 2024). Respecto a la interrupción del suministro de agua, y como se	La reducción del potencial hidroeléctrico podría ser menor o igual del 5 % respecto al periodo 1971-2000 (Tobin, y otros, 2018).Esto podría no traducirse directamente en interrupciones de suministro. Se estima en centenas de miles de personas afectadas en el sector agrícola y en el turismo por el déficit de suministro de agua. Se prevé un aumento de las pérdidas en la producción agraria debido a la la producción agraria debido a la	Se prevén múltiples impactos por calor en la producción, transmisión y demanda de energía, aumentando los riesgos de interrupción del suministro, en particular en el sur de Europa (EEA, 2024). Además, y en relación con la producción hidroeléctrica, el potencial hidroeléctrico podría ser inferior al 10 %, respecto al periodo 1971-2000 (Tobin, y otros, 2018). Las pérdidas de producción agraria se estiman que aumenten debido	En España en general la reducción del potencial hidroeléctrico podría situarse en el 15 %-20 % para un calentamiento de 3 °C, respecto al periodo 1971-2000 (Tobin, y otros, 2018). García-Valdecasas Ojeda *et al.*, (2021) reporta que se esperan megasequías de más de 15 años en muchas zonas de España, con drásticos recortes de caudales, lo que incrementa la probabilidad de interrupciones del suministro.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[18] Esta estimación no tiene en cuenta las causas del apagón.

[19] Esta estimación tiene una gran similitud con lo estimado por Wing *et al*. (2025), que estima que interrupciones de 1 día reducen el PIB de tres meses del área de servicios públicos en 1.800 millones de dólares (aproximadamente 1.550 millones de euros).

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	mencionó en el texto, solo en 2023, aproximadamente 9 millones de personas fueron afectadas por restricciones en el uso del agua debido a la escasez. Por otro lado, el cálculo agregado de pérdidas en agricultura y turismo por la escasez de agua en 2020 se sitúa por debajo del 0,1 % del PIB. Los impactos de eventos climáticos extremos han aumentado en los últimos años provocando pérdidas en producción agropecuaria (EEA, 2024).	mayor intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos, como olas de calor y sequías (Devon *et al.*, 2023; EEA, 2024).	a la intensidad y mayor frecuencia de eventos climáticos extremos como para el caso de olas de calor y sequías (Devon *et al.*, 2023; EEA., 2024).	Se estima que una sequía grave podría restar 1,3 % en el PIB, aumentando el nivel de severidad, según el Banco de España (Zarza, 2024).
	Considerando toda la información disponible se considera que el riesgo tiene una severidad crítica.	Considerando toda la información disponible se considera que el riesgo tiene una severidad crítica.	Considerando toda la información disponible se considera que el riesgo tiene una severidad crítica.	Se considera que la severidad es catastrófica por serlo tanto en lo relativo al suministro de agua como de alimentos.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Severidad y nivel de confianza				
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Medio ◆◆	Bajo ◆	Bajo ◆	Medio ◆◆
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Bajo	· Baja · Bajo	· Baja · Bajo	· Alta · Bajo
	Calidad alta, publicaciones académicas revisadas por pares, pero hay poca literatura y bajo consenso. Necesidad de investigación y cooperación en España.	Se trata de datos cualitativos (sin cuantificación de los impactos de la interrupción del suministro) y no hay un consenso sobre los impactos en este escenario.	Se trata de datos cualitativos (sin cuantificación de los impactos de la interrupción del suministro) y no hay un consenso sobre los impactos en este escenario.	Confianza alta (publicaciones académicas). Pocos estudios encontrados. Falta de información cuantitativa en relación a la interrupción de los suministros y necesidad de cooperación internacional.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Deslizamientos de tierra. • Sequías. • Olas de calor. • Inundaciones fluviales, pluviales y costeras. • Vientos intensos. • Incendios forestales.	Seguridad de: • Medios de vida. • Bienes materiales. • Capital natural. • Infraestructuras.	• Pobreza y desigualdad de ingresos y riqueza. • Personas dependientes de sistemas de refrigeración. • Localidades sin la infraestructura adecuada para acoger a más personas. • Zonas despobladas o con baja densidad poblacional. • Condiciones de diseño de la infraestructura eléctrica. • Demanda de agua. • Disminución de disponibilidad de alimentos.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	En situaciones extremas de escasez energética podría ser necesario aumentar las importaciones de energía (EEA, 2024). Asimismo, podría ser necesario aumentar las importaciones de agua, fenómeno que ya se ha observado previamente en España (Statista, 2025).
Territoriales	• Las consecuencias adversas a las infraestructuras críticas podrían afectar especialmente a las zonas más despobladas, menos prioritarias a la hora de reparar los daños (EEA, 2024). • De acuerdo con proyecciones, las ciudades del sur de España podrían ser las más afectadas por la escasez hídrica (WWF, s. f.).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Sociales	Grupos sociales que se verán expuestos de forma desigual: • En el caso de potenciales daños a infraestructuras críticas de salud, se podrían ver perjudicados colectivos de personas mayores o con enfermedades previas (Carr *et al.*, 2023). • Respecto a la disminución de suministros de agua, las personas con mayor riesgo de vulnerabilidad son aquellas con actividades económicas y medios de vida dependientes de los recursos hídricos. Por ejemplo, las personas que dependen económicamente del sector agropecuario, que es inherentemente vulnerable a las sequías (Sanz & Galán, 2020). • Respecto a los suministros energéticos, su disminución podría generar un incremento de precios en la energía, lo podría agravar, como se ha mencionado en el cuerpo del texto, situaciones de pobreza energética, afectando principalmente a personas con bajos recursos. • Paralelamente, si se interrumpiese el suministro eléctrico, como las infancias tienen desventajas termorreguladoras en relación con los adultos, podrían tener mayor probabilidad de sufrir afectaciones. De hecho, en 2021 los menores de un año sumaron el 48 % de las muertes por calor en menores de 20 años en Europa y Asia Central (UNICEF, 2024). • De manera más general, los cortes en el suministro eléctrico podrían afectar más a personas electrodependientes. Podrían darse cortes de suministro en líneas muy congestionadas y/o en zonas más despobladas, menos prioritarias a la hora de mejorar o reforzar las redes (EEA, 2024). • Por último, las personas con menores ingresos son los que más tienen falta de acceso a alimentos (Cruz Roja, 2024), por ejemplo, por estar más expuestos a la fluctuación de precios. Dentro de esta población, la infancia en situación de pobreza es la porción más vulnerable (EEA, 2024).
Maladaptación	Alimentación (sector agropecuario) • La expansión del regadío en zonas escasez de agua sin planificación puede llegar a ser una medida de maladaptación. • La creación de reservas estratégicas de alimentos para afrontar situaciones de crisis puede generar distorsiones en los precios además de implicar elevados costes de mantenimiento (World Bank *et al.*, 2025). Agua • La explotación de fuentes alternativas de agua sin planificación adecuada puede incrementar los riesgos frente a sequías.
Género	La tasa de pobreza entre las mujeres (20,8 %) es más elevada que entre los hombres (19,5 %) (Alguacil *et al.*, 2024; INE, 2023). Un incremento en los precios en servicios derivadas del riesgo clave descrito podría llevar a un aumento en la desigualdad en género.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	• Respecto al suministro eléctrico, la evaluación de umbrales varía en función del sistema de estudio. Por ejemplo, en el caso de la producción de energía varía según la fuente. Puntualmente, en la energía eólica, la producción está altamente influenciada por la velocidad del viento, ya que la generación resulta ineficiente tanto cuando los vientos son demasiado débiles como cuando son excesivamente fuertes. Dado que la energía eólica es proporcional al cubo de la velocidad del viento, un aumento del 15 % en la velocidad del viento puede generar un incremento del 52 % en la producción de energía, lo que tiene un impacto significativo en los ingresos y la viabilidad financiera de los proyectos eólicos (Mur Amada, s. f.). • En lo que refiere a los recursos hídricos, y de acuerdo con las directrices de la Dirección General del Agua (DGA) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), se ha establecido un umbral de detección de situaciones de sequía prolongada en un valor de 0,3. Así, cuando el Índice de Estado de Sequía (IES) mensual de cada Unidad Territorial de Sequía se acerque a 0, indicará las sequías prolongadas más severas, mientras que al aproximarse a 1 señalará condiciones opuestas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024a). • En el caso de las infraestructuras críticas, se han definido ciertos criterios para identificar la gravedad del riesgo en caso de emergencia y proporcionar una respuesta adecuada. Un ejemplo es la definición de infraestructuras críticas con importancia transfronteriza significativa establecida en la Recomendación del Consejo de 25 de junio de 2024 sobre un plan director para coordinar la respuesta a escala de la Unión. Sin embargo, cabe aclarar que actualmente no se han identificado referencias bibliográficas que cuantifiquen los umbrales mínimos de suministro de agua, alimentos y energía necesarios para la población en España. No obstante, esta información resulta clave para evaluar la vulnerabilidad de estos servicios esenciales frente a eventos climáticos extremos.
Lock-in/Bloqueo	Las infraestructuras construidas bajo supuestos climáticos obsoletos pueden no ser capaces de manejar fenómenos más intensos o frecuentes, como tormentas severas o inundaciones.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	A **nivel europeo**, la UE: • En sus **Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027** (Diario Oficial de la UE, 2021), en la sección de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) sugiere evaluar, por un lado, las infraestructuras en riesgo debido a su ubicación en zonas inundables; y por otro, cuáles son los activos de infraestructura clave (por ejemplo, segmentos e intersecciones de carreteras, infraestructuras de suministro de agua; infraestructuras energéticas; zonas industriales y grandes vertederos) en riesgo debido a su ubicación en áreas que podrían inundarse como consecuencia del aumento del nivel del mar o de que están sometidas a la erosión costera. • Cuenta con la Directiva 2022/2557 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de diciembre de 2022 relativa a la resiliencia de las entidades críticas. • Cuenta con la Directiva Europea 2008/114/CE sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección. • Cuenta con la Recomendación del Consejo de 25 de junio de 2024 sobre un plan director para coordinar la respuesta a escala de la Unión en caso de perturbaciones de infraestructuras críticas con importancia transfronteriza significativa. A **nivel nacional**, destaca la siguiente normativa, planificación y acciones, que incluye acciones relativas a la gestión del presente riesgo clave: • En el PNACC se recogen varias acciones que se vinculan con la gestión del presente riesgo: Líneas de acción agua y recursos hídricos, energía e infraestructuras críticas. • Sistema Nacional de Protección de las Infraestructuras Críticas. • La Ley 8/2011 establece medidas para la protección de las infraestructuras críticas. • El Real Decreto 704/2011 aprueba el Reglamento de protección de las infraestructuras críticas (desarrollado por Ley 8/2011). • Planes Hidrológicos 2022-2027. • Informe sobre la Gestión de la Sequía. • Informes y mapas de sequía hidrológica. • Planes Especiales de Sequía (PES). • Sistema de Información del Anuario de Aforos. • Sistemas Automáticos de Información Hidrológica. • Plan de desarrollo de la red de transporte de energía eléctrica 2021-2026. • Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. • Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	• Real Decreto 616/2007, de 11 de mayo, sobre fomento de la cogeneración. • Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. • Real Decreto-ley 12/2018, de 7 de septiembre, de seguridad de las redes y sistemas de información. • Real Decreto 1716/2004, de 23 de julio, por el que se regula la obligación de mantenimiento de existencias mínimas de seguridad, la diversificación de abastecimiento de gas natural y la corporación de reservas estratégicas de productos petrolíferos. • Plan de desarrollo de la red de transporte de energía eléctrica 2021-2026. • Plan + Seguridad Energética. • Ley 17/2011, de 5 de julio, de seguridad alimentaria y nutrición. • Tarjetas monedero, política impulsada por el Ministerio de Derechos Sociales, destinada a la compra de alimentos para familias vulnerables..
Gobernanza de gestión del riesgo	• El Sistema de Seguridad Nacional. • Administración General del Estado. • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) y puntualmente, Dirección General del Agua. • Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). • Consejo Nacional del Agua. • Centro Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas. • Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). • Red Eléctrica de España. • Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE). • Confederaciones hidrográficas. • Comunidades autónomas (CCAA) —tienen competencias en la gestión del agua en cuencas internas—. • Ayuntamientos y empresas municipales (responsables del abastecimiento de agua potable, el saneamiento y la depuración a nivel local). • Empresas públicas y privadas del sector de agua, alimentación y energía y operadores de infraestructuras críticas.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los costos de mantenimiento. • Reducción de pérdidas y daños. • Reducción de los riesgos en cascada identificados. • Incremento de la durabilidad de las infraestructuras. • Estabilidad en la provisión de energía, alimentos y agua para la población.

Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	• Si fuera necesario recurrir a fuentes de energía no limpias para restablecer el suministro eléctrico interrumpido por eventos extremos, aumentaría la demanda de combustibles fósiles.
	• El autoconsumo de energía puede contribuir a mitigar el riesgo, favoreciendo al mismo tiempo la mitigación del cambio climático.
	• Una menor generación hidroeléctrica puede obligar a poner en marcha instalaciones más costosas y menos sostenibles o a importar más electricidad del exterior.
	• Una intensificación de los episodios de desequilibrio oferta-demanda podría retrasar la sustitución de los combustibles fósiles (Garrido-Perez, Barriopedro, García-Herrera, & Ordóñez, 2021).
	• La necesidad de gestión del recurso hídrico ante situaciones de escasez puede afectar negativamente a las políticas de descarbonización.
	• En el caso de que el cese de suministro de alimentos se diera por disminución de las cosechas por eventos extremos:
	  • La pérdida de suelo por inundaciones conlleva pérdidas de carbono.
	  • Los incendios forestales generan incremento de emisiones de CO2.

Déficits de información	• No se dispone de información cuantitativa relativa a los impactos y potenciales impactos en cascada identificados. • La información relativa al alcance espacial del riesgo, su impacto sobre la población y economía es escasa. • Hasta el momento no se dispone de bibliografía que establezca de manera cuantitativa cuáles son los umbrales mínimos de suministro de agua, alimentos y energía requeridos por la población en España.
Recomendaciones de priorización	Requiere respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones. Requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

4.3. RC14.3. Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos

El riesgo clave de **crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos** se refiere a la posibilidad de que los efectos del cambio climático sobre los recursos naturales —como el agua, las tierras cultivables, la productividad agrícola o los recursos pesqueros— generen tensiones geopolíticas, disputas transfronterizas o incluso conflictos armados entre Estados.

Este riesgo no se limita únicamente a impactos directos entre España y otros países, sino que también abarca impactos indirectos derivados de conflictos en terceros países que han sido amplificados por el cambio climático. Estos conflictos pueden desencadenar crisis humanitarias, flujos migratorios o desestabilización regional, con consecuencias que trascienden fronteras y afectan a la seguridad global (Xie *et al.*, 2024).

La **Figura 4** representa la cadena de impacto de este riesgo clave, reflejando así las componentes que inducen al riesgo (peligro, elementos expuestos y factores de vulnerabilidad), así como los impactos derivados de dichas componentes. El riesgo clave se sitúa en el centro del esquema, y sobre él actúan los peligros climáticos y otros factores que potencian el riesgo. Del riesgo se derivan los potenciales impactos y riesgos en cascada identificados, que son propios del ámbito o se encuentran interrelacionados con otros sectores.

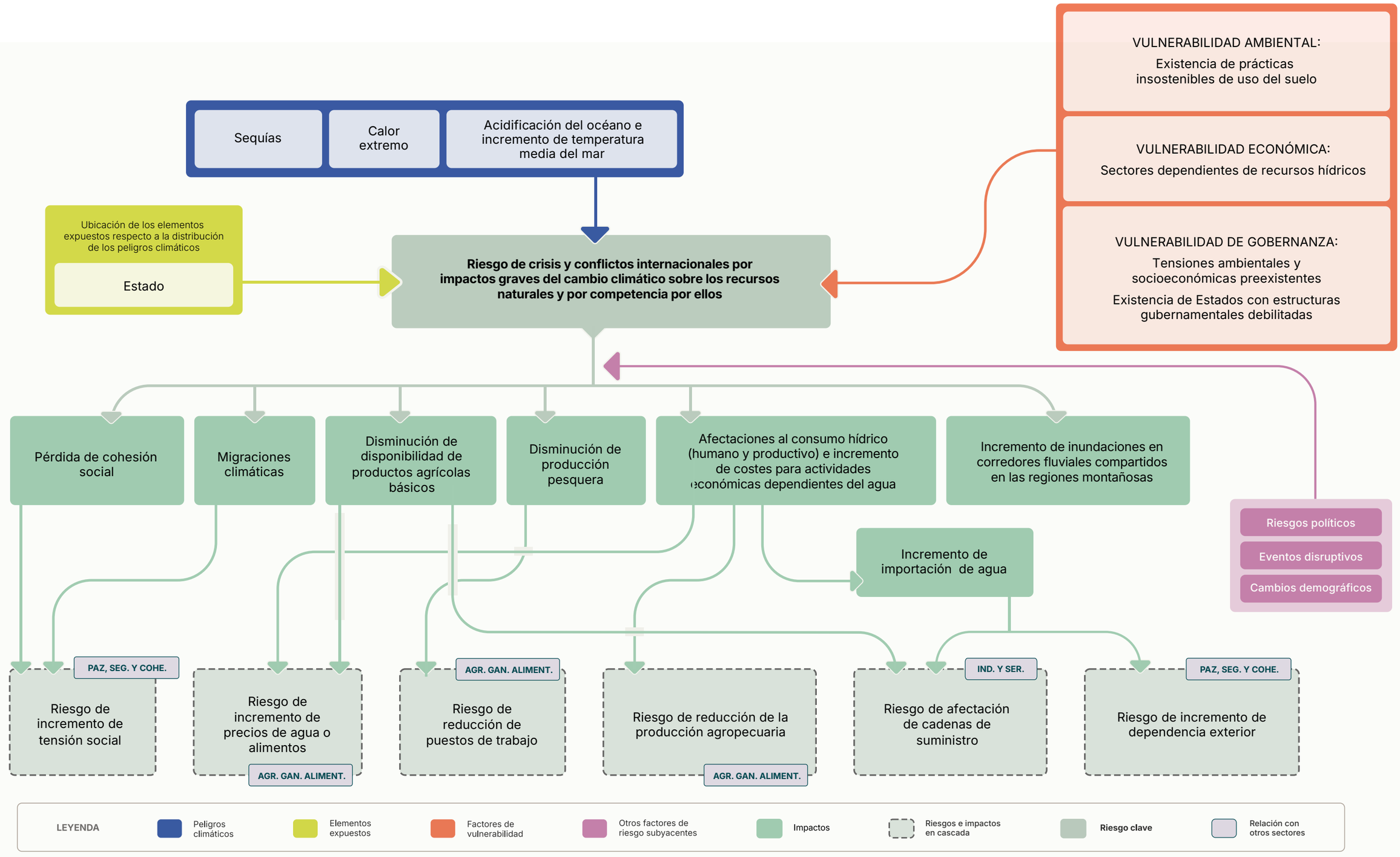


Figura 4. Cadena de impacto del riesgo clave de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.

La descripción de este riesgo clave se basa en bibliografía que aborda tanto los conflictos internacionales como aquellos impactos que pueden derivarse de la falta de resolución de los primeros. En primer lugar, se consideran los conflictos internacionales, entendidos como aquellos que podrían involucrar a diferentes Estados debido a peligros climáticos que afecten recursos naturales estratégicos y generen competencia por su acceso o control. En segundo lugar, se abordan los impactos en cascada, que se manifiestan sobre todo hacia el interior del territorio, es decir, aquellos que podrían surgir dentro del territorio nacional como consecuencia indirecta de la persistencia o agravamiento de conflictos internacionales.

Los peligros climáticos que impulsan este riesgo son aquellos capaces de provocar déficits en recursos naturales que, a su vez, puedan desencadenar situaciones de crisis, competencia o conflicto. No obstante, por razones de operatividad, en la **Figura 4** se han incluido únicamente aquellos peligros que generan déficits de recursos naturales **dentro del territorio español y en países limítrofes**. Entre ellos se destacan los peligros que reducen la disponibilidad de agua (sequías, calor extremo) y los que afectan la producción pesquera (acidificación del océano, incremento de las temperaturas).

Los posibles impactos del cambio climático en los conflictos violentos es un tema de gran relevancia y complejidad. Solo recientemente se ha identificado una relación causal entre el clima, el conflicto y la solicitud de asilo (Abel *et al.*, 2019). Sin embargo, se documenta que el cambio climático tiene una incidencia en los conflictos relativamente pequeña (IPCC, 2022). En otras palabras, es considerado un "multiplicador de peligros" (UE, 2023). Este concepto indica que el cambio climático puede intensificar problemas existentes, como la escasez de agua y alimentos, migraciones, enfermedades, conflictos por recursos y reducción del crecimiento económico, generando un efecto dominó que amplifica los riesgos y puede desencadenar crisis más profundas, especialmente en países vulnerables. Sin embargo, la evaluación del riesgo resulta particularmente compleja debido a la escasez de datos a largo plazo, la falta de estudios integrados y una comprensión insuficiente de los mecanismos causales (Xie *et al.*, 2024).

Los factores de vulnerabilidad asociados a este riesgo varían en función del recurso natural implicado en el conflicto. No obstante, existen factores de vulnerabilidad comunes que pueden amplificar el riesgo, independientemente del recurso específico. Entre ellos, destacan las tensiones ambientales y socioeconómicas preexistentes, que pueden actuar como catalizadores de inestabilidad política, desplazamientos forzados de población y escaladas de conflicto. Estas condiciones estructurales aumentan la susceptibilidad de los territorios y comunidades a los impactos derivados de la competencia por recursos naturales en contextos de presión climática (Lázaro Touza, 2019).

Adicionalmente, cabe destacar que la proliferación de Estados con estructuras gubernamentales debilitadas representa una amenaza creciente para la estabilidad de Europa. En contextos marcados por desplazamientos masivos y falta de oportunidades, los grupos armados encuentran terreno fértil para captar apoyos, lo que refuerza su capacidad operativa y desestabiliza aún más las regiones periféricas del continente. Esta dinámica puede desencadenar diversos efectos, como el aumento de la actividad terrorista o el agravamiento de las causas estructurales de la migración. Además, la recurrencia de crisis humanitarias obliga a redirigir recursos financieros, diplomáticos e incluso militares, tanto en Europa como en sus aliados, lo que compromete la atención a otras prioridades estratégicas. Por otro lado, el deterioro del orden estatal y los conflictos prolongados tienen un impacto directo en el comercio internacional: la escasez de materias primas, las disrupciones en las cadenas de suministro y la volatilidad de los precios afectan negativamente a la economía europea. Estas tensiones pueden trasladarse al ámbito político interno, debilitando la cohesión social y reduciendo la capacidad de resiliencia de las sociedades europeas frente a futuras crisis (Gomolka *et al*., 2025).

Respecto a los conflictos entre España y otros países debido a los efectos del cambio climático, uno de los más representativos es la escasez hídrica en cuencas compartidas, particularmente las históricas tensiones con Portugal, que pueden intensificarse durante períodos de sequía (La Moncloa, 2024; Lanbuça *et al*., 2024). Este problema tiene una escala territorial significativa, afectando a las poblaciones asentadas en todas las cuencas hidrográficas compartidas con el país vecino. En total, estas cifras ascienden a millones de personas, ya que solo en las cuencas del Duero y del Tajo residen alrededor de 9 millones de habitantes (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2017). En años recientes, las tensiones al respecto han sido notables, a pesar de los acuerdos firmados por ambos países. Por ejemplo, en el caso de Andalucía, se han documentado las disputas por los recursos hídricos con Portugal a partir de una situación de escasez que supuso restricciones de acceso al agua para aproximadamente 500.000 personas (The Portugal News, 2024). Además, los déficits en el suministro de agua para consumo humano podrían llevar a la necesidad de importarla, aumentando así la dependencia exterior. La importación de agua puede involucrar acuerdos con países vecinos que también se enfrentan a la escasez de agua. Esto, por ejemplo, podría generar tensiones y conflictos sobre la cantidad y el precio del agua transferida. Si bien no hay registros de ocurrencia de conflictos graves en España, el Centro de Estudios Estratégicos e Internacionales (CSIS por sus siglas en inglés) registra que los conflictos por el agua han aumentado significativamente en las últimas décadas, con más de 1.900 incidentes violentos registrados (Michel, 2024). Además, los efectos en cascada derivados de las tensiones no resueltas sobre los recursos hídricos podrían erosionar la confianza de la sociedad civil en la administración (The Water Diplomat, 2022; Tirado Sarti *et al*., 2025).

Adicionalmente, el incremento en la frecuencia e intensidad de sequías podría perjudicar la producción agropecuaria en regiones clave productoras de alimentos, lo que a su vez podría reducir

la disponibilidad de productos básicos como cereales, aceites y legumbres, generando aumento de precios[20]. De hecho, aunque no fue causada por factores climáticos, la guerra en Ucrania ha intensificado la crisis alimentaria mundial debido a una reducción abrupta en sus exportaciones agrícolas, lo que ha provocado un aumento significativo en los precios de productos básicos en los mercados internacionales (Consejo de la Unión Europea, s. f.). En este sentido, un estudio de la Universidad de Stanford (Lobell & Di Tommaso, 2025) revela que las sequías más intensas y las olas de calor ya han reducido el rendimiento global de cultivos esenciales como el trigo, maíz y cebada. Según el análisis, el rendimiento de estos cultivos es entre un 10 %, un 4 % y un 13 % inferior respectivamente al que se habría alcanzado en condiciones climáticas normales.

Por otro lado, y en situaciones más puntuales, se han presentado conflictos internacionales por los recursos pesqueros con Marruecos (Izquierdo, 2024; Macedonio, 2024), con Portugal (Excelsior, 2024; Landero, 2012) y con Canadá (C. García, 2022). Si bien hasta el momento esta tensión no se ha atribuido a motivos climáticos, se encuentra documentado que la distribución y proporción de las poblaciones de peces de las Zonas Económicas Exclusivas presentarán cambios como consecuencia del cambio climático (Palacios-Abrantes *et al*., 2022), lo que podría añadir factores de complejidad e incrementar las tensiones. Este fenómeno podría afectar de manera más directa a los empleados del sector (Landero, 2012).

[20] Cabe aclarar que no se han encontrado referencias bibliográficas en las que se documente este fenómeno específico en España, sino entre otros Estados.

Ficha 3. Resumen del riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Severidad del impacto	Sustancial	Sustancial	Crítica	Crítica
	Sändig *et al.*, (2024) y Xie *et al.* (2024) indican que hay un creciente consenso en lo relativo a la relación entre clima y conflicto, aunque las condiciones económicas y la política siguen siendo determinantes. Scheffran, (2024) indica que la relación entre la escasez de recursos, la degradación ambiental y el conflicto es compleja, indirecta y no está exenta de controversia, con el cambio climático contribuyendo a los conflictos, pero sin ser el factor determinante de los mismos en el Mediterráneo. Según Kerssenbrock, (2019), un análisis de 80 conflictos ocurridos desde 1945 en 18 países del Mediterráneo indica que el 50 % de los conflictos vinieron precedidos por un desastre natural en los 3 años anteriores.	No se encontró bibliografía que identifique los impactos en este escenario. Sin embargo, se asume que puede ser similar o levemente mayor al escenario anterior.	Aumento del 4,9 % al 9,8 % en los conflictos entre grupos y del 3,8 % al 7,6 % en los conflictos interpersonales debido a los cambios climáticos medios previstos para 2050 (Burke *et al.*, 2024). Si bien los impactos no se encuentran monetizados o cuantificados en cantidad de personas afectadas, se considera un incremento de la severidad del impacto identificada en el escenario actual.	No se encontró bibliografía que identifique impactos en este escenario. Sin embargo, se asume que puede ser similar o levemente mayor al anterior.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
	En materia energética la severidad puede ser limitada si se produce una crisis o conflicto acelerado o aumentado por el cambio climático que afecta a las infraestructuras de transporte y distribución de energía (US EPA, 2022). Por último, también se registraron conflictos por trasvases (Hernández-Mora *et al.*, 2014) (Tajo-Segura) y cumplimiento del Convenio de Albufeira con Portugal por caudales ecológicos en ríos compartidos (Constenla, 2024).			

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Severidad y nivel de confianza			
Horizontes temporales y estimaciones de niveles de calentamiento	Actual	Corto plazo 2021-2040 (1,5 °C)	Medio plazo 2041-2060 (2 °C)	Largo plazo 2081-2100 (3-4 °C)
Nivel de confianza:	Alto ◆◆◆		Medio ◆◆	
· Calidad de las evidencias · Consenso científico	· Alta · Medio		· Baja · Medio	
	Confianza alta para publicaciones académicas revisadas por pares, media para la literatura gris y baja para Constenla (2024) y para la tesina de máster citada. Leininger *et al.*, (2024) indican que los escenarios climáticos SSPs no contemplan de manera sistemática los factores políticos que pueden afectar a los conflictos. El consenso es emergente según algunos autores (Burke *et al.*, 2024) pero según Buhaug, (2024) no hay datos concluyentes sobre el impacto del cambio climático en los conflictos. Es necesaria más investigación y cooperación internacional.	No aplica: no se cuenta con bibliografía disponible que analice la severidad del impacto de este riesgo clave para analizar el nivel de confianza.	La referencia bibliográfica no es un artículo revisado por pares.	No aplica: no se cuenta con bibliografía disponible que analice la severidad del impacto de este riesgo clave para analizar el nivel de confianza.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Peligros	Elementos expuestos	Factores de vulnerabilidad
Componentes del riesgo	• Sequías. • Calor extremo. • Acidificación del océano e incremento de temperatura media del mar.	• Estado.	• Existencia de prácticas insostenibles de uso del suelo. • Sectores dependientes del riego. • Tensiones ambientales y socioeconómicas preexistentes. • Existencia de Estados con estructuras gubernamentales debilitadas.

	Aspectos transversales
Transfronterizos	El riesgo está definido a partir del impacto de crisis y conflictos internacionales, por lo que este aspecto es inherente al riesgo.
Territoriales	Este riesgo afecta a la totalidad del territorio nacional. Sin embargo, como fue mencionado previamente, los territorios más afectados por este riesgo son aquellos que mantuvieron conflictos por recursos previamente con países limítrofes. Se incluyen en las cuencas compartidas las siguientes comunidades autónomas: 1. Cuenca del Tajo: Castilla-La Mancha, Comunidad de Madrid, Extremadura, Castilla y León, Aragón. 2. Cuenca del Duero: Castilla y León, Galicia, Cantabria, Castilla-La Mancha, Extremadura, La Rioja y Madrid. 3. Cuenca del Guadiana: Castilla-La Mancha, Extremadura y Andalucía. 4. Cuenca del Miño-Sil: Galicia y Castilla y León. Asimismo, los territorios que pueden sufrir en mayor medida las consecuencias de este riesgo son aquellos con actividades económicas y medios de vida dependientes de los recursos naturales (territorios con mayor superficie cultivada y con cuencas compartidas).
Sociales	Grupos sociales que se verán expuestos de forma desigual: • Personas que viven de la producción agropecuaria y/o la pesca. • Niños y personas mayores de 65 años o con enfermedades cardio-respiratorias previas podrían ser las más afectadas (la escasez hídrica puede afectar la calidad de vida de las personas por falta de refrigeración y agua para consumo). • Colectivo Pymes dependientes de producción primaria.
Maladaptación	Los trasvases de cuenca o las obras de aprovechamiento hídrico realizados sin una adecuada planificación podrían dejar desprovistas de agua otras zonas que lo requieran.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Aspectos transversales
Género	Las afectaciones en la actividad agropecuaria debido a la escasez del recurso hídrico podrían afectar en mayor medida a mujeres dado que estas son más vulnerables, especialmente en las zonas rurales. Por ejemplo, solo el 30,53 % de las explotaciones son propiedad de mujeres (Soler & Fernández, 2017).

	Otros aspectos analizados
Umbrales críticos	Los umbrales a partir de los cuales se desaten conflictos por la competencia de recursos podrían determinarse a partir de umbrales de escasez de estos. En el caso del agua, de acuerdo con las directrices de la Dirección General del Agua (DGA) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y como se ha mencionado en el Riesgo Clave previo, se ha establecido un umbral de detección de situaciones de sequía prolongada en un valor de 0,3. Así, cuando el Índice de Estado de Sequía (IES) mensual de cada Unidad Territorial de Sequía se acerque a 0, indicará las sequías prolongadas más severas, mientras que al aproximarse a 1 señalará condiciones sin presencia de sequías (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Dirección General del Agua), s. f). Estos umbrales aplican tanto a conflictos de España con países vecinos, como también a efectos de las sequías en recursos naturales en otros países que repercuten indirectamente en España.
Lock-in/Bloqueo	• Dependencia de fuentes de agua transfronterizas en crisis. • Agotamiento y/o contaminación de recursos hídricos subterráneos. • Desertificación y desplazamientos forzados. • Disminución de calidad y cantidad de recursos pesqueros.
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	Hay múltiples acuerdos y normativas para la gestión de los recursos naturales compartidos con otros Estados. Entre ellos: **Pesca (fluvial y marítima)** • Acuerdo de pesca UE-Marruecos. • Política Pesquera Común. • Tratado de Amistad y Cooperación Hispano Luso. • Acuerdo entre el Reino de España y la República Portuguesa relativo a la Pesca en el Tramo Internacional del Río Miño (TIRM), adoptado en Trujillo el 28 de octubre de 2021. • Acuerdo sobre condiciones de ejercicio de la actividad de las flotas española y portuguesa en las aguas de ambos países entre el reino de España y la República Portuguesa (2021).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Planes o medidas en curso de gestión del riesgo	**Recursos hídricos** • Convenio de Albufeira (España-Portugal). • Encuentro Nacional Ciudadano por la Defensa de los Ríos y del Agua en Coímbra. • Asociación de Comunidades de Regantes de la Cuenca del Duero. • Política Agraria Común 2023-2027. • Confederación Hidrográfica del Duero. • Directiva Marco del Agua. • Convenio sobre cooperación para la protección y el aprovechamiento sostenible de las aguas de las cuencas hidrográficas hispanoportuguesas, hecho "ad referendum" en Albufeira el 30 de noviembre de 1998. • Real Decreto 354/2013, de 17 de mayo, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. **Gobernanza sobre importación de productos alimenticios** • Estrategia Nacional de Seguridad Alimentaria (objetivo de "Garantizar el suministro constante, variado, seguro, suficiente y a precios asequibles de alimentos para toda la población"). • Política comercial común de la Unión Europea. • Arancel Aduanero Común. • Política Agrícola Común (PAC) (aunque está enfocada en la producción agrícola europea, fomenta la autosuficiencia y reducción de la dependencia externa de productos). • Diferentes medidas tomadas por parte de empresas para la disminución de la dependencia de productos (Encuesta Coyuntura de la Exportación, 2022). **Seguridad nacional/mediación de conflictos internacionales** • Ley 36/2015 de Seguridad Nacional. • Estrategia de Seguridad Nacional. • Plan Nacional de Acción sobre Mujeres, Paz y Seguridad. • Tratado de Amistad y Cooperación España–Portugal. • Declaración Conjunta Reunión 2+2.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Gobernanza de gestión del riesgo	• Administración Central: establece el marco legal y coordina acciones a nivel nacional. • Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación. • Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). • Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). • Ministerio de Defensa – Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE). • Comunidades autónomas (CCAA). • Empresas del sector agropecuario y pesquero. • Ayuntamientos: desarrollan Planes Locales de Acción Climática. • Consejo de Seguridad Nacional y Consejo Nacional de Protección Civil. • Servicio Europeo de Acción Exterior (SEAE). • Alianza UE-ONU[21]. • Departamento de Seguridad Nacional. • Centro Nacional de Inteligencia. • Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación. • Dirección General de Relaciones Internacionales y Extranjería.
Beneficios de medidas de adaptación futuras	• Reducción de los riesgos en cascada identificados. • Mayor resiliencia de las actividades agropecuarias y pesqueras para limitar la disminución de productividad. • Disminución de tensiones sociales. • Incremento en la credibilidad de la administración por parte de la sociedad civil. • Reducción en el número de personas afectadas por falta de acceso al agua.
Afección a/de descarbonización o neutralidad climática	Las mejoras en el acceso al agua por parte del sector agropecuario podrían afectar la dinámica de humedales, ecosistemas acumuladores de carbono.

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

[21] El objetivo de la Alianza UE-ONU es proporcionar un enfoque más coherente y sistemático para enfrentar los desafíos de la paz y la seguridad asociados con la gestión de los recursos naturales.

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

	Otros aspectos analizados
Déficits de información	• La información relativa al impacto sobre la economía es escasa. • La información relativa a la vulnerabilidad transfronteriza, territorial, social y de género es escasa. • No se han encontrado datos precisos sobre la cantidad de población y/o recursos afectados por este riesgo.
Recomendaciones de priorización	Requiere planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano. Requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo. Es necesaria una gobernanza transversal, con decisiones compartidas y planificación conjunta.

5. Análisis de riesgos complejos

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector.

Con este objetivo se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** (véase Capítulo de Riesgos complejos), orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo basado en teoría de grafos. Esta herramienta matemática permite representar sistemas compuestos por elementos relacionados entre sí.

Cada nodo del grafo representa un riesgo clave identificado, y las conexiones (aristas dirigidas) indican cómo unos riesgos influyen en otros.

Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema, identificar nodos (riesgos) principales y calcular métricas que ayudan a entender el papel de cada riesgo. Así, el grado de salida señala los riesgos con mayor capacidad de generar impactos; el grado de entrada identifica aquellos más vulnerables a influencias externas; la denominada "centralidad de cercanía" muestra la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema; y, finalmente, la "centralidad de intermediación" revela los riesgos que actúan como puentes en la propagación de efectos.

El análisis de riesgos complejos del ámbito sectorial de *Paz, seguridad y cohesión social* se basa en los resultados obtenidos en este análisis general de riesgos complejos.

A continuación, se esbozan los grafos de cada riesgo clave (Figuras 5 a 7). El primero de los riesgos clave identificados (*Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y subsistencia como consecuencia de los impactos del cambio climático* **Figura 5**) presenta el mayor grado de entrada entre los riesgos analizados en los 14 ámbitos sectoriales. Exceptuando Energía, Industria y servicios y Movilidad y transporte, los demás ámbitos sectoriales afectan directamente a este riesgo. Cabe destacar que la totalidad de los riesgos clave del ámbito sectorial Forestal, desertificación, caza y pesca continental tienen una afección a este riesgo clave. Por el contrario, el grado

de salida es de 7 (bajo), siendo los ámbitos sectoriales afectados: Ciudad y medio urbano; Sistema financiero y actividad aseguradora y Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación (3 de 4 riesgos clave).

El *Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático* (**Figura 6**) tiene grado de entrada 20 y grado de salida 9. Los ámbitos sectoriales que inciden en este riesgo son múltiples: Forestal, desertificación, caza y pesca continental, Ciudad y medio urbano, Agua y recursos hídricos, Paz, seguridad y cohesión social, Sistema financiero y actividad aseguradora, Energía, Movilidad y transporte e Industria y servicios. De la misma manera que sucede en el riesgo clave anterior, el grado de salida es sustancialmente menor e incluye a los ámbitos sectoriales de Ciudad y medio urbano, Sistema financiero y actividad aseguradora, Salud humana, Forestal, desertificación, caza y pesca continental y Paz, seguridad y cohesión social.

El *Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos* (**Figura 7**) tiene grado de entrada 10 y grado de salida 11. El mismo se ve afectado por riesgos del propio ámbito sectorial, así como también por riesgos de Agua y recursos hídricos, Ciudad y medio urbano, Paz, seguridad y cohesión social, Forestal, desertificación, caza y pesca continental y Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas. Por otro lado, afecta a riesgos de Ciudad y medio urbano, Forestal, desertificación, caza y pesca continental, Paz, seguridad y cohesión social, Agua y recursos hídricos, Sistema financiero y actividad aseguradora, Industria y servicios y Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas.

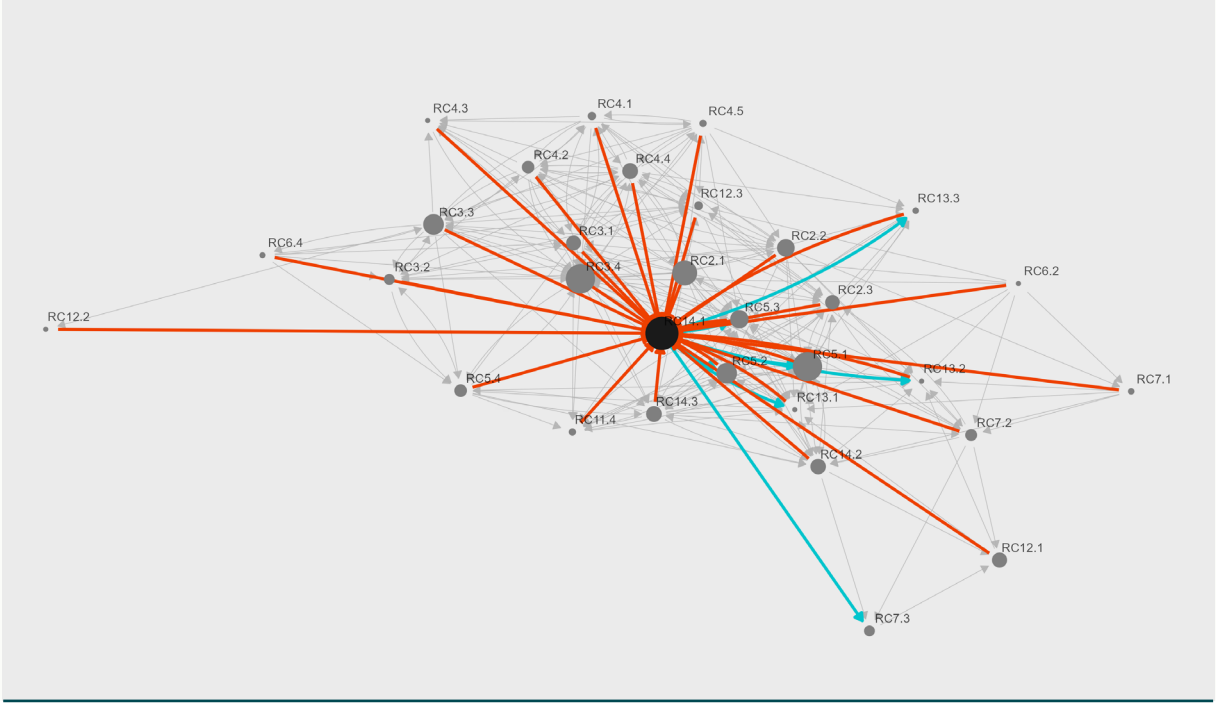


Figura 5. Grafo del Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.

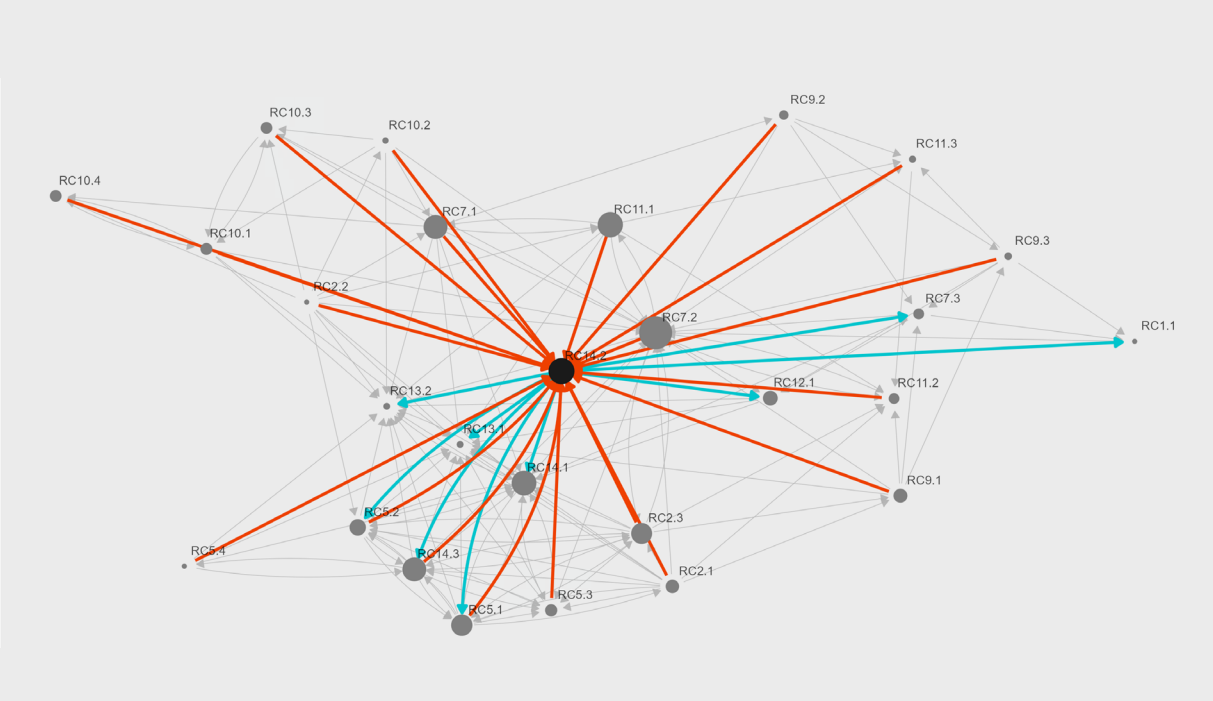


Figura 6. Grafo del Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.

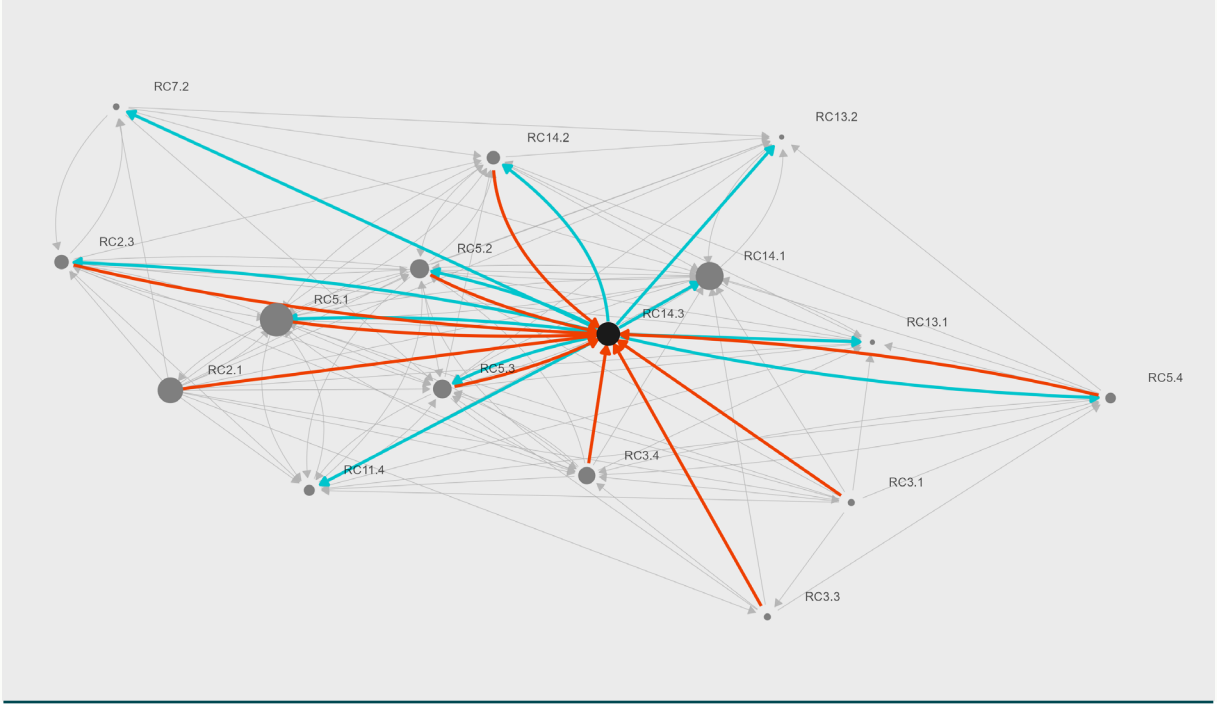


Figura 7. Grafo del Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.

Las métricas de estos riesgos clave se resumen en la Tabla 2. Es importante destacar que las categorías utilizadas fueron definidas a partir de dos criterios distintos.

Por un lado, los grados de entrada y salida se clasificaron en dos: de 0 a 10 se considera “bajo”, y mayor o igual a 10 se considera “alto”.

Por otro lado, las métricas de cercanía e intermediación se agruparon aplicando umbrales fijos, por lo que los valores se distribuyen de la siguiente manera:

- Intermediación:
  > Baja: 0 – 50
  > Media: 50 – 200
  > Alta: >200

- Cercanía:
  > Baja: 0 – 0,005
  > Media: 0,0051 – 0,009
  > Alta: >0,0091

Tabla 2. Análisis de riesgos complejos en el ámbito sectorial de la Paz, seguridad y cohesión social.

Riesgo Clave	Grado de entrada	Grado de salida	Intermediación	Cercanía
RC 14.1 Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático	Alto ▲	Bajo ▼	Alta ▲	Media –
RC 14.2 Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados de peligros climáticos	Alto ▲	Bajo ▼	Alta ▲	Media –
RC 14.3 Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos	Bajo ▼	Alto ▲	Media –	Media –

6. Caso de estudio

El caso de estudio *Investigación aplicada sobre el impacto del cambio climático en las poblaciones en pobreza y vulnerabilidad social. Medidas para el afrontamiento y la recuperación* ha sido seleccionado con un propósito ilustrativo, aportando un ejemplo concreto de evaluación de riesgos climáticos dentro del ámbito de Paz, seguridad y cohesión social. Los casos de estudio sectoriales, en su mayoría facilitados por comunidades autónomas, permiten mostrar enfoques aplicados, avances metodológicos y herramientas de diagnóstico desarrolladas en distintos sectores y contextos locales, y reflejan la diversidad territorial y temática del país. Lejos de constituir una recopilación exhaustiva, su inclusión busca enriquecer el análisis nacional mediante la exposición de buenas prácticas y aprendizajes relevantes, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y la identificación de experiencias innovadoras en la gestión y evaluación de riesgos climáticos.

Investigación aplicada sobre el impacto del cambio climático en las poblaciones en pobreza y vulnerabilidad social. Medidas para el afrontamiento y la recuperación

Objeto

- El cambio climático afecta de manera desigual a los distintos sectores de la población. Carecer de los recursos económicos necesarios, poseer malas condiciones físicas o determinadas desventajas sociales puede multiplicar la vulnerabilidad de determinados grupos sociales, lo que, a su vez, puede incrementar la vulnerabilidad social. El estudio recoge los resultados de la investigación aplicada que se ha llevado a cabo para determinar de qué manera el cambio climático impacta o puede afectar a las poblaciones en pobreza, vulnerabilidad o desigualdad social, y analizar la efectividad de las políticas públicas y recursos vinculados a la Agenda 2030.

Sector(es)/subsector

- Paz, seguridad y cohesión social.

Entidad(es) del proyecto

- EAPN-ES (European Anti Poverty Network-España), ESCODE (Estudios y cooperación para el desarrollo), Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030 (Gobierno de España).

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Descripción

- Se ha utilizado un enfoque metodológico de investigación aplicada que incorpora una metodología cualitativa a través de técnicas biográficas y narrativas, y un modelo de intervención, mediante la adaptación de la metodología Investigación Acción Participativa (IAP). Se ha centrado en cuatro zonas con una alta tasa de riesgo de pobreza y vulnerabilidad social y especialmente afectadas por fenómenos climáticos relacionados con el agua. A través de entrevistas, talleres y análisis de campo se han recogido testimonios y datos sobre la relación entre cambio climático y vulnerabilidad social, abordando aspectos como la gestión del agua, la salud, la vivienda, el empleo y las condiciones de vida. El informe también incorpora un enfoque de género y se apoya en herramientas como el mapeo 3D y los lienzos de prototipos para diseñar propuestas de mejora.

Aspectos destacables

- El estudio desarrolla una propuesta metodológica de investigación aplicada y un modelo de intervención concebidos como herramientas transferibles a futuras investigaciones y políticas públicas, tanto desde el ámbito social como institucional, en los niveles local, autonómico, estatal y europeo. Asimismo, incorpora diagnósticos locales y propuestas de acción contextualizadas. Estas propuestas se estructuran en torno a ejes temáticos generales —administración, asociacionismo y participación, consumo, modelo productivo y discriminación—, así como en ámbitos específicos vinculados a la vulnerabilidad social, gobernanza, construcción e infraestructuras, megaproyectos energéticos, inundaciones, agricultura y ganadería y gestión del agua.

Escala

Municipal (4)

- Los Alcázares (Murcia).
- Almoradí (Alicante).
- Bolaños de Calatrava (Ciudad Real).
- Almendralejo (Badajoz).

Riesgo(s)

- RC14.1. Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.
- RC14.2. Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.

Enlaces

- https://www.eapn.es/cambio-climatico/ARCHIVO/documentos/documentos/informe-final-eapn.pdf

7. Limitaciones y particularidades metodológicas del ámbito sectorial

Este capítulo expone los principales riesgos climáticos del ámbito de la Paz, seguridad y cohesión social de España, así como su interrelación con los riesgos de otros ámbitos con el fin de poder orientar la adaptación en su planificación y gestión. Asimismo, identifica una serie de riesgos clave en base a la información existente y una valoración en clave de urgencia con el fin de identificar aquellos riesgos que requieren de una atención más inmediata en el siguiente ciclo de planificación.

Las limitaciones de este capítulo se derivan de la falta de información disponible, así como de las características intrínsecas del ámbito sectorial de la Paz, seguridad y cohesión social. A continuación, se describen de forma genérica las fuentes empleadas, se enumeran las limitaciones del capítulo y de la evaluación de los riesgos relevantes y claves.

Fuentes empleadas

El diagnóstico de impactos y riesgos derivados del cambio climático en España, elaborado en el año 2021 no contempla explícitamente un análisis de riesgos del ámbito sectorial. Sin embargo, se ha utilizado como referencia de bibliografía nacional la Estrategia de Seguridad Nacional (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021), y respecto a documentos internacionales, el documento Addressing climate-related security risks (UNEP, 2022), el documento generado por la comisión del G7, A new climate for peace (Rüttinger *et al.*, 2015) y la Caja de Herramientas del Mecanismo de Seguridad Climática de la ONU (United Nations, 2020). Además, se ha incorporado información de fuentes académicas como Xie *et al.*, (2024) y Ge *et al.*, (2022). Toda esta bibliografía carece de información explícita en términos espaciales y, además, muchas de estas fuentes no están estrictamente vinculadas al territorio español. Como resultado, no se centran exclusivamente en las problemáticas climáticas relacionadas con la seguridad en nuestro país.

Limitaciones relativas a las características del ámbito sectorial

La falta de información se debe, en parte, a la naturaleza del ámbito sectorial, ya que en muchos casos los riesgos no están vinculados a infraestructuras físicas claramente identificables, a diferen-

cia de otros ámbitos. Por ejemplo, en el sector energético existen plantas y redes de distribución, mientras que en el transporte es posible localizar carreteras, puertos y vías férreas. Según Sedová *et al.*, (2024) las herramientas de evaluación del riesgo para la seguridad climática deben ofrecer análisis geográficamente desglosados. En este capítulo, algunos riesgos sí presentan un anclaje territorial más evidente —como el "*Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, energía o alimentos, o daños a infraestructuras críticas derivados del cambio climático*"—, aunque en estos casos se agrupan múltiples servicios e infraestructuras, además de tratarse de riesgos multiamenaza. Esta complejidad impide un análisis de los impactos específicos de cada peligro sobre el elemento expuesto de seguridad y paz. Como consecuencia, no se han desarrollado análisis de riesgo espacialmente explícitos ni cartografías de los riesgos abordados en este capítulo.

Además, la falta de información se debe a que los estudios de seguridad —y, en menor medida, las relaciones internacionales— han comenzado a prestar atención al cambio climático solo en tiempos relativamente recientes (McDonald, 2024).

Por otro lado, en relación con la definición de los conceptos de paz, seguridad y cohesión social, la bibliografía documenta ampliamente que la falta de paz y seguridad conlleva una pérdida de cohesión social (Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno, 2021). En este sentido, todos los riesgos identificados, ya sea de forma directa o indirecta, influyen tanto en la seguridad como en la cohesión social. Por ello, aunque en la Figura 1 los riesgos se presenten o bien incidiendo más directamente en la paz y la seguridad, o bien incidiendo sobre la cohesión social, en la práctica, cualquier riesgo que afecte a la seguridad también tendrá un impacto en la cohesión social.

Limitaciones relativas a la identificación de los riesgos relevantes del ámbito

Por lo general, la identificación de los riesgos relevantes se ha basado en estudios que identifican y valoran los impactos climáticos del ámbito sectorial de forma cualitativa, ya que la cuantificación de los impactos y riesgos es aún limitada para el territorio.

Por este motivo, se requiere seguir trabajando para generar conocimiento en torno a los impactos y riesgos del cambio climático en la Paz, seguridad y cohesión social, tanto en lo relativo a la identificación de riesgos para nuevos peligros, como en la mejora de la precisión de las evaluaciones existentes. Es crucial, además, desarrollar estudios que integren los últimos escenarios planteados por el IPCC, para obtener una visión más completa y precisa de los posibles futuros impactos climáticos.

Limitaciones relativas a la priorización de los riesgos relevantes

El AMC elaborado para la priorización de los riesgos relevantes toma en consideración los criterios empleados por el IPCC, (2022), los cuales hacen referencia al alcance y a la probabilidad de que se produzcan las consecuencias adversas, las características temporales del riesgo, los efectos distributivos negativos graves, así como a la capacidad para adaptarse o responder al riesgo. Tal y como se refleja previamente, las restricciones en la disponibilidad de información complican la evaluación objetiva de los criterios, haciendo necesario recurrir al juicio de expertos.

Si bien el juicio de expertos puede estar sujeto a sesgos personales y limitaciones, para mitigar dicho riesgo, se ha implementado un riguroso proceso de validación interna de forma que las evaluaciones han sido revisadas y corroboradas por múltiples expertos, reforzando, así, la fiabilidad y la objetividad de los resultados obtenidos.

Limitaciones relativas a la caracterización de los riesgos clave

Del mismo modo, la limitada información disponible hasta la fecha complica la caracterización de los riesgos clave, particularmente en lo que respecta a la descripción de aspectos como umbrales críticos del riesgo, riesgos de bloqueo y cuestiones transversales, tales como los efectos transfronterizos, la vulnerabilidad social y territorial, y la perspectiva de género. Es por ello, por lo que la información recopilada en las fichas sobre estos temas es una aproximación preliminar, y resulta necesario continuar generando nuevo conocimiento que permita una mejor comprensión de estas cuestiones.

Limitaciones relativas al análisis de los riesgos complejos

Los estudios previamente descritos se centran en la evaluación de un determinado peligro climático y en aspectos particulares del ámbito sectorial. Por ello, no se han encontrado análisis con una visión de conjunto de los riesgos e impactos del mismo, especialmente en aquellos con alto potencial de que sean compuestos.

En este sentido, existe una necesidad urgente de ampliar el conocimiento de las relaciones entre los riesgos del mismo ámbito sectorial, así como entre este y los restantes. Esto permitirá una mejor comprensión de cómo los riesgos compuestos pueden afectar al ámbito en su totalidad y facilitará la implementación de estrategias de adaptación más integradas y efectivas.

8. Referencias

- Abel, G. J., Brottrager, M., Crespo Cuaresma, J. & Muttarak, R. 2019, 'Climate, conflict and forced migration', *Global Environmental Change*, vol. 54, pp. 239-249. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.12.003.
- AdapteCCa n.d., *Visor de Escenarios de Cambio Climático*, viewed 11 June 2025, https://escenarios.adaptecca.es/#&model=EURO-CORDEX-EQM.average&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=year&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE.
- AEMET 2017, *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Agencia Estatal de Meteorología.
- Agroseguro 2023, *Agroseguro Memoria 2023*. Disponible en: https://agroseguro.es/informeanual-2023/#page=1.
- Aguas, M. C. 2025, 'Preparing for climate migration and integration: A policy and research agenda', *Journal of Ethnic and Migration Studies*, vol. 51, no. 1, pp. 4-23. Disponible en: https://doi.org/10.1080/1369183X.2024.2438449.
- Alguacil, A., Leonor Canals, Juan Carlos Llano, Alejandro Sanz & Clara Urbano 2024, *El Estado de la Pobreza 2024. Primer avance de resultados*, EAPN España.
- Andre, P., Boneva, T., Chopra, F. & Falk, A. 2024, 'Globally representative evidence on the actual and perceived support for climate action', *Nature Climate Change*, vol. 14, pp. 1-7. Disponible en: https://doi.org/10.1038/s41558-024-01925-3.
- Aon 2025, Climate and Catastrophe Insight.
- Asociación de Ciencias Ambientales 2018, *Pobreza Energética en España. Hacia un sistema de indicadores y una estrategia de actuación estatal*. Disponible en: https://www.cienciasambientales.org.es/docpublico/pobrezaenergetica/2018_Estudio_Pobreza_Energetica.pdf.
- Betts, R. A. & Brown, K. 2021, *The Third UK Climate Change Risk Assessment Technical Report*, Climate Change Committee, London.
- Bono, F. 2023, 'Claves del trasvase Tajo-Segura. ¿Por qué se dice que vuelve la guerra del agua?', *El País*, 12 January. Disponible en: https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2023-01-12/claves-del-trasvase-tajo-segura-por-que-se-dice-que-vuelve-la-guerra-del-agua.html.
- Buhaug, H. 2024, *Global Security Challenges of Climate Change*, p. 18.
- Burke, M., Ferguson, J., Hsiang, S. & Miguel, E. 2024, 'New evidence on the economics of climate and conflict', in O. Dube, M. Morelli & D. Ray (eds), *Handbook of the Economics of Conflict*, vol. 1, North-Holland, pp. 249-305. Disponible en: https://doi.org/10.1016/bs.hoec.2024.10.008.
- Burke, M., Hsiang, S. M. & Miguel, E. 2015, 'Global non-linear effect of temperature on economic production', *Nature*, vol. 527, no. 7577, pp. 235-239. Disponible en: https://doi.org/10.1038/nature15725.

- CaixaBank Research 2024, *La buena salud de las exportaciones agroalimentarias españolas*. Disponible en: https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/agroalimentario/buena-salud-exportaciones-agroalimentarias-espanolas.
- Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., De Roo, A. & Feyen, L. 2020, *Global warming and drought impacts in the EU: JRC PESETA IV project: Task 7*, Publications Office of the European Union. Disponible en: https://data.europa.eu/doi/10.2760/597045.
- Carney, M. M. 2017, *Letter from Michael R. Bloomberg*.
- Carr, D., Falchetta, G. & Sue Wing, I. 2023, 'Why are older adults more susceptible to heat-related illness, and what can be done about it?', *World Economic Forum*, 28 July. Disponible en: https://www.weforum.org/stories/2023/07/older-adults-more-susceptible-heat-illnesses/.
- Castilla, K. 2024, *La inclusión de la movilidad humana en las contribuciones determinadas y los planes de adaptación al cambio climático en el Estado español: Fundamentos y razones*.
- CCS 2024, *VIGESIMOPRIMERA NOTA INFORMATIVA SOBRE LAS INUNDACIONES EXTRAORDINARIAS PRODUCIDAS POR LA DANA DEL 26 DE OCTUBRE AL 4 DE NOVIEMBRE DE 2024 EN LA COMUNIDAD VALENCIANA, ANDALUCÍA, CATALUÑA, CASTILLA-LA MANCHA, BALEARES, ARAGÓN Y OTRAS ZONAS Y LA GESTIÓN DE LAS INDEMNIZACIONES QUE CORRESPONDE ASUMIR AL CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS (CCS) DEL MINISTERIO DE ECONOMÍA, COMERCIO Y EMPRESA*. Disponible en: https://www.consorseguros.es/documents/10184/0/VIGESIMOPRIMERA_nota_informativa_DANA_DEFINITIVA.pdf/dc4c571e-e4be-6d3d-b95d-c41cd28a50d9?t=1751619412779.
- CEDEX 2017, *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*. Disponible en: https://ceh.cedex.es/web/documentos/CAMREC/2017_07_424150001_Evaluaci %C3 %B3n_cambio_clim %C3 %A1tico_recu.pdf.
- CEDEX 2018, *Secciones de la red estatal de infraestructuras de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambios climáticos*. Disponible en: https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/accit_informe_final_cedex.pdf.
- CES 2024, *Impacto socioeconómico y laboral del cambio climático*. Disponible en: https://www.ces.es/documents/10180/5327928/DOCUMENTO_01_24_marcadores.pdf.
- CEV 2025, *Impacto DANA en Valencia*. Disponible en: https://www.cev.es/wp-content/uploads/Impacto-DANA-en-Valencia-12.03.2025.pdf.
- Civio n.d., *Mapa de incendios forestales*, viewed 11 June 2025, https://civio.es/medio-ambiente/mapa-de-incendios-forestales/.
- Climática 2020, 'Demandan al Gobierno de España ante el Tribunal Supremo por inacción climática', *Climática*. Disponible en: https://climatica.coop/primer-litigio-climatico-espana/?tztc=1.
- Comisión Europea n.d., *El Cambio Climático y la Seguridad Nacional*.
- Consejo de la Unión Europea n.d., *Cómo la invasión rusa de Ucrania ha agravado la crisis alimentaria mundial*, Consilium, viewed 14 July 2025, https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/how-the-russian-invasion-of-ukraine-has-further-aggravated-the-global-food-crisis/.
- Consejo de Seguridad Nacional, Presidencia del Gobierno 2021, *Estrategia de Seguridad Nacional 2021*, Administración General del Estado.

- Constenla, T. 2024, 'Portugal y España revisan la gestión del agua en los ríos Tajo y Guadiana', *El País*, 22 October. Disponible en: https://elpais.com/sociedad/2024-10-22/portugal-y-espana-revisan-la-gestion-del-agua-en-los-rios-tajo-y-guadiana.html.
- Copernicus Climate Change Service (C3S) and World Meteorological Organization (WMO) 2025, *European State of the Climate 2024*, Copernicus Climate Change Service (C3S). Disponible en: https://doi.org/10.24381/14J9-S541.
- Cruz Roja 2024, 'La inseguridad alimentaria se agrava en España: El 70 % de las personas atendidas por Cruz Roja están preocupadas por no alimentar adecuadamente a sus familias', *Cruz Roja*. Disponible en: https://www2.cruzroja.es/es/-/la-inseguridad-alimentaria-se-agrava-en-espa-c3-b1a-el-70-de-las-personas-atendidas-por-cruz-roja-estan-preocupadas-por-no-alimentar-adecuadamente-a-s.
- CSIC 2023, *Ciencia para las Políticas Públicas. Sequías*, Administración General del Estado.
- D'Apice, P., Grzegorzewska, M., De Franceschi, F., Brons, M., Maes, J., De Dominicis, L., Pesaresi, E., Gianelle, C., Heidelk, T., Monfort, P., Walsh, J. & European Commission 2024, *Ninth report on economic, social and territorial cohesion*, ed. J. Durán Laguna, Publications Office of the European Union. Disponible en: https://doi.org/10.2776/585966.
- de Pee, S. 2013, 'Food Security', in B. Caballero (ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition* (Third Edition), Academic Press, pp. 353-360. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375083-9.00127-6.
- De Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Vivancos, T. & San-Miguel-Ayanz, J. 2017, *Forest fire danger extremes in Europe under climate change: Variability and uncertainty*, Publications Office of the European Union. Disponible en: https://data.europa.eu/doi/10.2760/13180.
- Devot, A., Royer, L., Arvis B., Deryng, D., Caron Giauffret, E., Giraud, L., Ayral, V. & Rouillard, J. 2023, *Research for AGRI Committee – The impact of extreme climate events on agriculture production in the EU*, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.
- Diario Oficial de la UE 2021, *Orientaciones técnicas sobre la defensa contra el cambio climático de las infraestructuras para el período 2021-2027*. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=OJ%3AC%3A2021%3A373%3AFULL.
- Dobetter 2025, '¿Estamos preparados para el próximo apagón en España?', *dobetter*, 5 May. Disponible en: https://dobetter.esade.edu/es/proximo-apagon-espana.
- Ecologistas en Acción 2024, 'Almería: Crisis del agua: Sobreexplotación y contaminación de acuíferos y humedales', *Ecologistas en Acción*, 29 February. Disponible en: https://www.ecologistasenaccion.org/311506/almeria-crisis-del-agua-sobreexplotacion-y-contaminacion-de-acuiferos-y-humedales/.
- Economía Digital Comunidad Valenciana 2024, 'Más de 4.000 empresas valencianas solicitan el cese de actividad por la DANA', *Economía Digital Comunidad Valenciana*, 3 December. Disponible en: https://www.economiadigital.es/valencia/economia/empresas-valencianas-cese-actividad-dana.html.
- EEA 2024, *European Climate Risk Assessment*, Publication No. 01/2024, Publications Office of the European Union. Disponible en: https://doi.org/10.2800%2F204249.
- Eklund, G., Sibilia, A., Salbi, S., Poljansek, K., Marzi, S., Gyenes, Z. & Corbane, C. 2023, *Towards a European wide vulnerability framework: A flexible approach for vulnerability assessment using composite indicators*, Publications Office. Disponible en: https://data.europa.eu/doi/10.2760/353889.
- El Observatorio Social, Fundación «la Caixa» 2022, *La España desertificada*. Disponible

en: https://elobservatoriosocial.fundacionlacaixa.org/es/-/la-espana-desertificada.

- Escribano, G., Fachada, J. & Urbasos, C. 2025, *After the Energy Crisis: Policy Responses in the Iberian Peninsula*, Brookings Institute and Fundação Francisco Manuel dos Santos.
- European Commission n.d., *EU Preparedness Union Strategy to prevent and react to emerging threats and crises*, European Commission - European Commission, viewed 14 July 2025, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_856.
- Excelsior 2024, 'España vs. Portugal: Disputa de 500 años por Islas Salvajes afecta economía pesquera', *Excelsior*. Disponible en: https://www.excelsior.com.mx/trending/conflicto-islas-salvajes/1673080.
- Fariza, I., Andrino, B. & Álvarez, C. 2024, 'Las dos Españas del agua: La hidroeléctrica, en máximos pese a la dura sequía en el Mediterráneo', *El País*, 16 March. Disponible en: https://elpais.com/economia/2024-03-16/las-dos-espanas-del-agua-la-hidroelectrica-en-maximos-pese-a-la-dura-sequia-en-el-mediterraneo.html.
- Felipe Pérez, B. 2018, *Informe migraciones climáticas ECODES*.
- Felipe Pérez, B. 2021, *Migraciones climáticas. Avances en el reconocimiento, la protección jurídica y la difusión de estas realidades*, November 2021.
- Felipe Pérez, B. 2022, *Migraciones climáticas. Desafíos para conseguir narrativas transformadoras*.
- Feyen, L., Ciscar, M. J. C., Gosling, S., Ibarreta, R. D., Soria, R. A., Dosio, A., Naumann, G., Russo, S., Formetta, G., Forzieri, G., Girardello, M., Spinoni, J., Mentaschi, L., Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Guenther, S., De, R. A. *et al*. 2020, *Climate change impacts and adaptation in Europe*, JRC Publications Repository. Disponible en: https://doi.org/10.2760/171121.
- FIAB 2023, 'FIAB alerta del impacto de la sequía en el suministro de alimentos y bebidas', *FIAB*. Disponible en: https://fiab.es/fiab-alerta-impacto-sequia-suministro-alimentos-bebidas/.
- Flynn, C. & Tovar Jardon, S. 2024, *The Peoples' Climate Vote 2024*, UNDP. Disponible en: https://www.undp.org/publications/peoples-climate-vote-2024.
- Forzieri, G., Bianchi, A., Silva, F. B. E., Marin Herrera, M. A., Leblois, A., Lavalle, C., Aerts, J. C. J. H. & Feyen, L. 2018, 'Escalating impacts of climate extremes on critical infrastructures in Europe', *Global Environmental Change*, vol. 48, pp. 97-107. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.007.
- Gamaza, R. 2023, 'La verdad de la guerra sucia del agua en Doñana', *elCorreo*. Disponible en: https://www.elcorreoweb.es/andalucia/2023/04/14/guerra-sucia-agua-donana-104457125.html.
- Gamero Rus, J. M. 2014, *Las migraciones humanas inducidas por el Cambio Climático como un fenómeno multicausal: La respuesta desde las políticas sociolaborales y los mecanismos de Protección Social*.
- García, A. 2016, 'El 80 % de los desplazados climáticos son mujeres', *HuffPost*. Disponible en: https://www.huffingtonpost.es/arantxa-garcia-gangutia/el-80-de-los-desplazados-_b_12799556.html.
- García, C. 2022, 'La breve guerra entre Canadá y España que detonó un pesquero gallego', *La Razón*. Disponible en: https://www.larazon.es/cultura/historia/20220216/n4pmcl65abb37jkixvfuhmnwjy.html.
- García León, D. & Ciscar, J. C. 2022, *Impactos y riesgos del cambio climático en España:*

Una breve panorámica, Funcas. Disponible en: https://www.funcas.es/articulos/impactos-y-riesgos-del-cambio-climatico-en-espana-una-breve-panoramica/.

- García-León, D., Matei, N.A., Batista e Silva, F., Barranco, R., Dosio, A. & J.C. Ciscar 2025, 'European tourism demand in the face of climate change: Asymmetric impacts, demand reallocation, and deseasonalisation strategies', *Environmental Research Letters*, vol. 20, 024043. Disponible en: https://doi.org/10.1088/1748-9326/adaa04.
- García-Valdecasas Ojeda, M., Gámiz-Fortis, S. R., Romero-Jiménez, E., Rosa-Cánovas, J. J., Yeste, P., Castro-Díez, Y. & Esteban-Parra, M. J. 2021, 'Projected changes in the Iberian Peninsula drought characteristics', *Science of The Total Environment*, vol. 757, 143702. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143702.
- Garrido-Perez, J. M., Barriopedro, D., García-Herrera, R. & Ordóñez, C. 2021, *Impact of climate change on Spanish electricity demand*. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/342336/1/841045.pdf.
- Ghosh, R. C. & Orchiston, C. 2022, 'A systematic review of climate migration research: Gaps in existing literature', *SN Social Sciences*, vol. 2, no. 5, p. 47. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s43545-022-00341-8.
- Gobierno de Canarias 2021, *Análisis de riesgos costeros ante el cambio climático en las Islas Canarias*.
- Gobierno de España 2023, *Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo, por el que se adoptan medidas urgentes en materia agraria y de aguas en respuesta a la sequía y al agravamiento de las condiciones del sector primario derivado del conflicto bélico en Ucrania y de las condiciones climatológicas, así como de promoción del uso del transporte público colectivo terrestre por parte de los jóvenes y prevención de riesgos laborales en episodios de elevadas temperaturas*. Disponible en: https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2023-11187.
- Gomolka, J., Pohl, B., Sauer, F., Thornton, F. & Tsetsos, K. 2025, *National Interdisciplinary Climate Risk Assessment*. Disponible en: https://metis.unibw.de/en/nike/.
- GRAFCAN 2021, *ANÁLISIS DE RIESGOS COSTEROS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ISLAS CANARIAS*. Disponible en: https://opendata.sitcan.es/upload/medio-ambiente/pima/INFORME_PIMA_ADAPTA_COSTAS_CANARIAS.pdf.
- Heras, F. 2023, '¿Cómo afrontar los riesgos que se derivan del cambio climático? Los conflictos en torno a las medidas de adaptación a través de la prensa española', *ResearchGate*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/381879838_Como_afrontar_los_riesgos_que_se_derivan_del_cambio_climatico_Los_conflictos_en_torno_a_las_medidas_de_adaptacion_a_traves_de_la_prensa_espanola.
- Hernández-Mora, N., del Moral Ituarte, L., La-Roca, F., La Calle, A. & Schmidt, G. 2014, 'Interbasin Water Transfers in Spain: Interregional Conflicts and Governance Responses', in G. Schneier-Madanes (ed.), *Globalized Water: A Question of Governance*, Springer Netherlands, pp. 175-194. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7323-3_13.
- Hoffmann, B. 2021, 'Cómo el cambio climático empeora la pobreza y la desigualdad', *Ideas que Cuentan*, 30 April. Disponible en: https://blogs.iadb.org/ideas-que-cuentan/es/como-el-cambio-climatico-empeora-la-pobreza-y-la-desigualdad/.
- IEA 2022, *Energy security in energy transitions – World Energy Outlook 2022 – Analysis*, IEA. Disponible

en: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/energy-security-in-energy-transitions.

- INE 2023, '2.6 Población en riesgo de pobreza relativa según edad. Población en riesgo de pobreza relativa según nivel educativo'.
- IPCC 2022, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem & B. Rama, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. Disponible en: https://doi.org/10.1017/9781009325844 and https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/.
- Izquierdo, R. 2024, 'Las reclamaciones marítimas de Marruecos a España: Estas son las aguas territoriales que pide Rabat', AS.com. Disponible en: https://as.com/actualidad/sociedad/las-reclamaciones-maritimas-de-marruecos-a-espana-estas-son-las-aguas-territoriales-que-pide-rabat-n/.
- Joint Research Centre 2024, '2023 among the five worst years for wildfires in Europe, but 2024 provides some relief', *European Commission*. Disponible en: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/2023-among-five-worst-years-wildfires-europe-2024-provides-some-relief-2024-11-19_en.
- JRC 2025, *JRC PESETA V*, European Commission. Disponible en: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/projects-and-activities/peseta-climate-change-projects/jrc-peseta-v_en.
- Kahn, M., Kamiar Mohaddes, R., Hashem Pesaran, M. & Raissi, J.-C. 2019, *Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis*, IMF. Disponible en: https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/10/11/Long-Term-Macroeconomic-Effects-of-Climate-Change-A-Cross-Country-Analysis-48691.
- Kerssenbrock, D. 2019, *Effects of natural disasters on conflicts in the Mediterranean Region*, Master Thesis, University of Hamburg, Institute of Geography.
- Kotz, M., Donat, M. G., Lancaster, T., Parker, M., Smith, P., Taylor, A. & Vetter, S. H. 2025, 'Climate extremes, food price spikes, and their wider societal risks', *Environmental Research Letters*, vol. 20, no. 8, 081001. Disponible en: https://doi.org/10.1088/1748-9326/ade45f.
- Kotz, M., Levermann, A. & Wenz, L. 2024, 'The economic commitment of climate change', *Nature*, vol. 628, no. 8008, pp. 551-557. Disponible en: https://doi.org/10.1038/s41586-024-07219-0.
- La Información Económica 2023, 'La sequía rompe el acelerón de los últimos años en la compraventa de fincas rústicas', *20 minutos*. Disponible en: https://www.20minutos.es/lainformacion/economia-y-finanzas/-sequia-rompe-aceleron-los-ultimos-anos-compraventa-fincas-rusticas-5284376/.
- La Moncloa 2024, 'España y Portugal sitúan las adversidades climáticas y el futuro de la PAC entre los principales retos de la nueva legislatura europea', *La Moncloa*. Disponible en: https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/agricultura/paginas/2024/231024-planas-cumbre-portugal.aspx.
- Lanbuça, L., Mendoza, E. & Borges, D. 2024, 'La sequía pone a prueba las relaciones entre Portugal y España', ctxt.es | *Contexto y Acción*. Disponible en: http://ctxt.es/es/20240901/Politica/47394/luzia-lambuca-daniel-borges-emerson-mendoza-ayala-gran-reportaje-aguas-hipanolusas-sequia-portugal-espana-agricultura.htm.

- Landero, J. 2012, 'El conflicto pesquero entre España y Portugal: Tensiones que no cesan', *Huelva Información*. Disponible en: https://www.huelvainformacion.es/huelva/conflicto-pesquero-Espana-Portugal-tensiones_0_640436430.html.
- Lázaro Touza, L. 2019, 'Integrating Climate Change Action into EU Security Policy', in Gómez de Ágreda, Ángel. Disponible en: https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780429465918-16/integrating-climate-change-action-eu-security-policy-1-lara-l%C3%A1zaro-touza-%C3%A1ngel-g%C3%B3mez-de-%C3%A1greda.
- Lázaro Touza, L., González Enríquez, C. & Martínez, J. P. 2024, *Los ciudadanos ante el cambio climático*, Real Instituto Elcano. Disponible en: https://www.realinstitutoelcano.org/encuestas/los-ciudadanos-ante-el-cambio-climatico-2024/.
- Leininger, J., Buhaug, H., Gilmore, E., Lindberg, S. I., Andrijevic, M., Bauer, N., Jewell, J., Moyer, J., Soergel, B., Tosun, J., Vesco, P., Wingens, C., Hegre, H., Vestby, J., Kriegler, E., van Vuuren, D., Karlsson-Vinkhuyzen, S. I., Brutschin, E., Nord, M. *et al*. 2024, *Climate Futures are Political Futures: Integrating Political Development Into the Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)*. Disponible en: https://zenodo.org/records/14387075.
- *Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas* 2021. Disponible en: https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-7630.
- Lobell, D. B. & Di Tommaso, S. 2025, 'A half-century of climate change in major agricultural regions: Trends, impacts, and surprises', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 122, no. 20, e2502789122. Disponible en: https://doi.org/10.1073/pnas.2502789122.
- Macedonio, Ro. 2024, 'El sector pesquero español pide recuperar el acuerdo de la UE con Marruecos', *euronews*. Disponible en: https://es.euronews.com/2024/10/09/el-sector-pesquero-espanol-pide-recuperar-el-acuerdo-de-la-ue-con-marruecos.
- Marcos, M., Orfila, A., Tintoré, J. & Gómez-Pujol, L. 2021, *Análisis de riesgos en la costa ante el cambio climático en las Illes Balears*, Report, SOCIB. Disponible en: https://www.caib.es/sites/adaptcalamillor/ca/n/analisis_de_riesgos_en_la_costa_ante_el_cambio_climatico_en_las_illes_balears.
- Martín-Arroyo, J. 2022, 'Guerra por el agua entre agricultores en Doñana', *El País*. Disponible en: https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2022-01-16/guerra-por-el-agua-entre-agricultores-en-donana.html.
- Matei, N.-A., Garcia, L. D., Dosio, A., Batista, E. S. F., Ribeiro, B. R. & Ciscar, M. J. C. 2023, *Regional impact of climate change on European tourism demand*, JRC Publications Repository. Disponible en: https://doi.org/10.2760/899611.
- McDonald, M. 2024, 'Fit for purpose? Climate change, security and IR', *International Relations*, vol. 38, no. 3, pp. 313-330. Disponible en: https://doi.org/10.1177/00471178241268270.
- Michel, D. 2024, *What Causes Water Conflict?* Disponible en: https://www.csis.org/analysis/what-causes-water-conflict.
- Milán-García, J., Caparrós-Martínez, J. L., Rueda-López, N. & de Pablo Valenciano, J. 2021, 'Climate change-induced migration: A bibliometric review', *Globalization and Health*, vol. 17, no. 1, p. 74. Disponible en: https://doi.org/10.1186/s12992-021-00722-3.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico n.d.a, *Inventario Nacional de Erosión de Suelos* [Dataset], viewed 11 June 2025, https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/inventario_nacional_erosion.html.

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico n.d.b, *Puntos de especial importancia en zona inundable por periodo de retorno (T=10 años) y demarcación* [Dataset]. Disponible en: https://sig.mapama.gob.es/Docs/Agua/PtoRiesgoInundacion/PEI.pdf.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico n.d.c, *Trasvase Tajo-Segura*, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, viewed 11 June 2025, https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/trasvase-tajo-segura.html.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2017, 'La Confederación Hidrográfica del Duero del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente cumple hoy 90 años de existencia', *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/prensa/historico/2017/06/la_confederacionhidrograficadelduerodelministeriodeagriculturayp.html.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020a, *El marco de trabajo para la gestión del riesgo de inundación*.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2020b, *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030*, Administración General del Estado, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2022, *Estrategia Nacional de Lucha contra la Desertificación*, ed. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado, NIPO: 665-22-040-7.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2024a, *Informe mensual de seguimiento de la situación de sequía y escasez. Septiembre de 2024*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/2409-Informe_SE_sep_2024.pdf.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2024b, 'La reserva hídrica española se encuentra al 51,4 % de su capacidad', *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico*. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2024/diciembre/la-reserva-hidrica-espanola-se-encuentra-al-51-4--de-su-capacida.html.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Dirección General del Agua) n.d., *Informe de actuaciones de gestión de la sequía 2022-2023*, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Molina Vileya, I. & Pacce, M. 2025, *El impacto de la sequía en la producción agrícola española*. Disponible en: https://doi.org/10.53479/39745.
- Motta, C., Naumann, G., Gomez, D., Formetta, G. & Feyen, L. 2025, 'Assessing the economic impact of droughts in Europe in a changing climate: A multi-sectoral analysis at regional scale', *Journal of Hydrology: Regional Studies*, vol. 59, 102296. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102296.
- Mur Amada, J. n.d., *CURSO DE ENERGÍA EÓLICA*. Disponible en: https://www.windygrid.org/manualEolico.pdf.
- Murillo, J. A., Esteban Gracia, E. & Baccou, S. 2023, *La Situación y Perspectivas de los Recursos Hídricos en España*.
- Naturklima 2022, *Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en*

Gipuzkoa. Infraestructuras críticas. Disponible en: https://www.gipuzkoa.eus/documents/3767975/6edf432d-a80d-6733-b928-1b59ae956423.

- Naumann, G., Cammalleri, C., Mentaschi, L. & Feyen, L. 2021, 'Increased economic drought impacts in Europe with anthropogenic warming', *Nature Climate Change*, vol. 11, no. 6, pp. 485-491. Disponible en: https://doi.org/10.1038/s41558-021-01044-3.
- Neal, T., Newell, B. R. & Pitman, A. 2025, 'Reconsidering the macroeconomic damage of severe warming', *Environmental Research Letters*. Disponible en: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/adbd58.
- OECD 2015, *In It Together: Why Less Inequality Benefits All*. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1787/9789264235120-en.
- Oughton, E. J., Russell, T., Oh, J., Ballan, S. & Hall, J. W. 2023, *Global Vulnerability Assessment of Mobile Telecommunications Infrastructure to Climate Hazards using Crowdsourced Open Data*, No. arXiv:2311.04392, arXiv. Disponible en: https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.04392.
- Palacios-Abrantes, J., L. Frölicher, T., Reygondeau, G., Rashid Sumaila, U., Tagliabue, A., Wabnitz, C. & Cheung, W. 2022, 'Timing and magnitude of climate-driven range shifts in transboundary fish stocks challenge their management'. Disponible en: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.16058.
- Planelles, M. & Fariza 2023, 'España en los programas electorales | La guerra del clima estalla entre los bloques | Elecciones generales | España', *El País*. Disponible en: https://elpais.com/espana/elecciones-generales/2023-07-16/espana-en-los-programas-electorales-la-guerra-del-clima-estalla-entre-los-bloques.html.
- Pulido Velázquez, D., Collados Lara, A. J. & Alcalá García, F. J. 2017, *Assessment of future impacts of potential climate change scenarios on aquifer recharge in continental Spain*, Copernicus Publications, DIGITAL.CSIC. Disponible en: https://digital.csic.es/handle/10261/273663.
- *Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo, por el que se adoptan medidas urgentes en materia agraria y de aguas en respuesta a la sequía y al agravamiento de las condiciones del sector primario derivado del conflicto bélico en Ucrania y de las condiciones climatológicas, así como de promoción del uso del transporte público colectivo terrestre por parte de los jóvenes y prevención de riesgos laborales en episodios de elevadas temperaturas* 2023. Disponible en: https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2023-11187.
- Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., Mach, K. J., Mintenbeck, K., O'Neill, B., Pathak, M., Pedace, R., Pörtner, H.-O., Poloczanska, E., Corradi, M. R., Sillmann, J., van Aalst, M., Viner, D., Jones, R., Ruane, A. C. & Ranasinghe, R. 2020, *The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, pp. 15.
- Rossi, L., Wens, M., De, M. H., Cotti, D., Sabino, S. A.-S., Toreti, A., Maetens, W., Masante, D., Van, L. A., Hagenlocher, M., Rudari, R., Naumann, G., Meroni, M., Avanzi, F., Isabellon, M. & Barbosa, P. 2023, *European Drought Risk Atlas*, 10 October, JRC Publications Repository. Disponible en: https://doi.org/10.2760/608737.
- Rüttinger, L., Smith, D., Stang, G., Vivekananda, J. & Tänzler, D. 2015, *A new climate for peace*.

- Sändig, J., Dalmer, N., Ide, T. & Vogler, A. 2024, 'From climate conflicts to environmental peacebuilding: Exploring local dimensions', *Environment and Security*, vol. 2, pp. 3-20. Disponible en: https://doi.org/10.1177/27538796241231090.
- Sanz, M. J. & Galán, E. 2020, *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*, Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Scheffran, J. 2024, *The Geopolitical Impact of Climate Change in the Mediterranean Region: Climate Change as a Trigger of Conflict and Migration*.
- Šedová, B., Binder, L., Michelini, S., Schellens, M. & Rüttinger, L. 2024, 'A review of climate security risk assessment tools', *Environment and Security*, vol. 2, no. 1, pp. 175-210. Disponible en: https://doi.org/10.1177/27538796241226996.
- Solaun, K. & Cerdá, E. 2017, 'The Impact of Climate Change on the Generation of Hydroelectric Power—A Case Study in Southern Spain', *Energies*, vol. 10, no. 9, Article 9. Disponible en: https://doi.org/10.3390/en10091343.
- Soler, C. & Fernández, F. 2017, *Estructura de la propiedad de la tierra en el Estado Español. Concentración y acaparamiento*. Disponible en: https://www.iss.nl/sites/corporate/files/17_-_Soler_y_Ferna___uendez.pdf.
- Statista 2025, *Agua: Importaciones españolas por país de origen*, Statista. Disponible en: https://es.statista.com/estadisticas/521716/volumen-de-importacion-de-agua-a-espana-desde-el-mundo-por-pais/.
- TECNALIA (Director) 2021, *Efectos de los escenarios hidrológicos proyectados para el siglo XXI sobre generación hidroeléctrica* [Video recording], 28 May. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=62aG_5vEjyQ.
- The Portugal News 2024, 'Spain "insisting" on water from Portugal to tackle drought', *The Portugal News*. Disponible en: https://www.theportugalnews.com/news/2024-01-18/spain-insisting-on-water-from-portugal-to-tackle-drought/85232.
- The Water Diplomat 2022, 'Spanish farmers demand government stops sending water to Portugal', *The Water Diplomat*, 6 October. Disponible en: https://www.waterdiplomat.org/story/2022/10/spanish-farmers-demand-government-stops-sending-water-portugal.
- Tirado Sarti, S., Lázaro Touza, L., González Enríquez, C., Gijón Torres, F. & Lopez Gunn, E. 2025, *El agua en España: Opiniones, actitudes y prioridades de los ciudadanos*, Real Instituto Elcano. Disponible en: https://www.realinstitutoelcano.org/policy-paper/el-agua-en-espana/.
- Toreti, A., Bavera, D., Acosta, N. J., Acquafresca, L., Barbosa, P., De, J. A., Ficchì, A., Fioravanti, G., Grimaldi, S., Hrast, E. A., Magni, D., Mazzeschi, M., Mccormick, N., Salamon, P., Santos, N. S. & Volpi, D. 2025, *Drought in Europe April 2025*, JRC Publications Repository. Disponible en: https://doi.org/10.2760/7964287.
- Trombetta, M. J. 2014, 'Linking climate-induced migration and security within the EU: Insights from the securitization debate', *Critical Studies on Security*, vol. 2, no. 2, pp. 131-147. Disponible en: https://doi.org/10.1080/21624887.2014.923699.

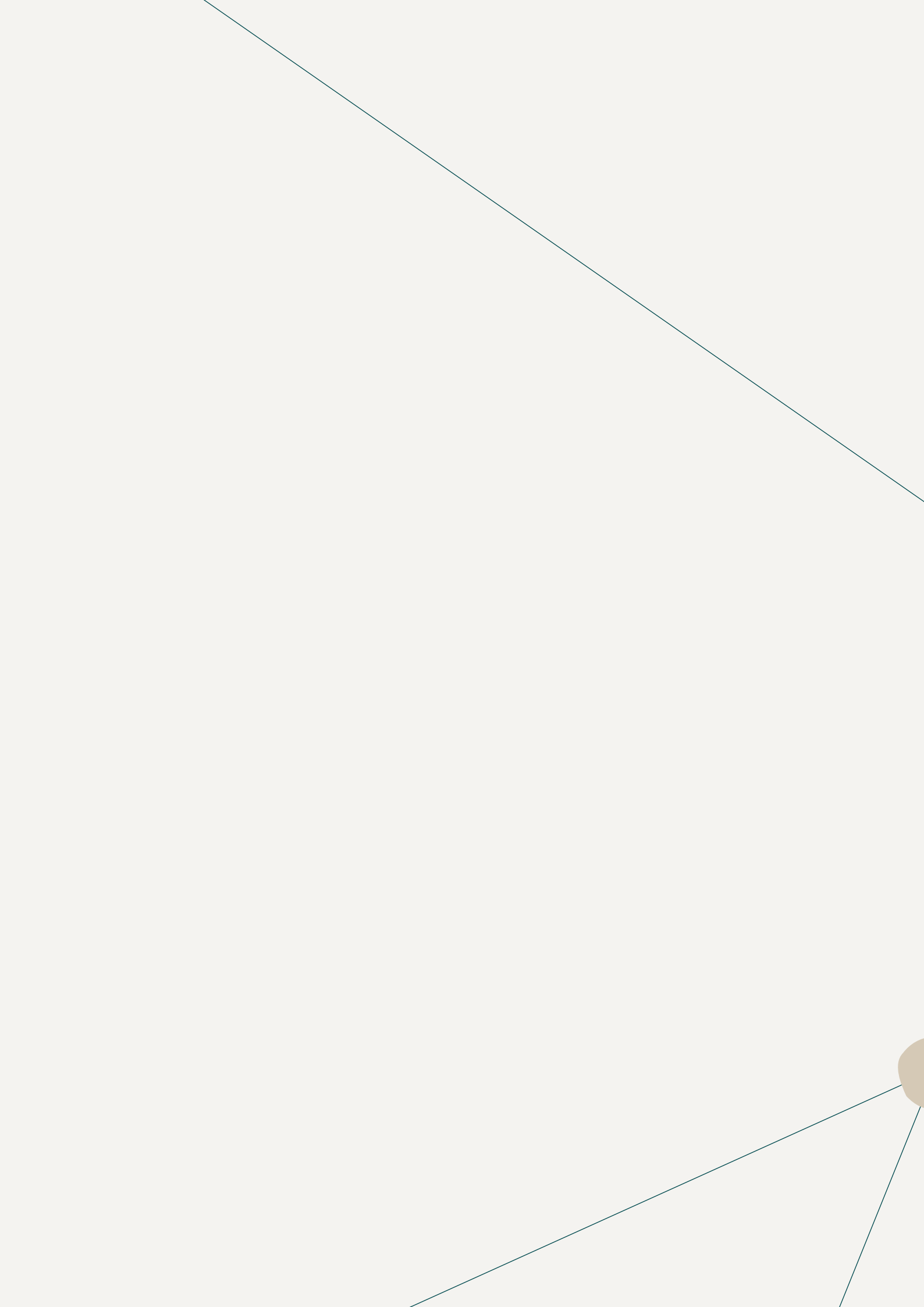
- UE 2023, *A new outlook on the climate and security nexus: Addressing the impact of climate change and environmental degradation on peace, security and defence*. Disponible en: https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/documents/2023/JOIN_2023_19_1_EN_ACT_part1_v7.pdf.
- UN Water 2013, *Water Security and the Global Water Agenda*, UN-Water. Disponible en: https://www.unwater.org/publications/water-security-and-global-water-agenda.
- UNDRR 2022, *Technical Guidance on Comprehensive Risk Assessment and Planning in the Context of Climate Change*, United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- UNEP 2022, *ADDRESSING CLIMATE-RELATED SECURITY RISKS. Conflict sensitivity for climate change adaptation and sustainable livelihoods*.
- UNICEF 2024, *Beat the heat: Child health amid heatwaves in Europe and Central Asia*, UNICEF Europe and Central Asia Regional Office. Disponible en: https://www.unicef.org/eca/media/35706/file/Beat%20the%20Heat%202024.pdf.
- United Nations 2020, *Toolbox. Conceptual approach to integrated climate-related security risk assessments*.
- URBAN KLIMA 2050, *Adaptación de los puertos*. Disponible en: https://www.urbanklima2050.eu/es/adaptacion-de-los-puertos/accion/18/.
- US EPA, O. 2022, *Climate Change Impacts on Energy* [Overviews and Factsheets], 19 October. Disponible en: https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-impacts-energy.
- Velasco, M. L., Bartolomé, C. & Suso, A. 2020, *Género y cambio climático. Un diagnóstico de situación*, Ministerio de Igualdad; Administración General del Estado.
- Vlasceanu, M., Doell, K. C., Bak-Coleman, J. B., Todorova, B., Berkebile-Weinberg, M. M., Grayson, S. J., Patel, Y., Goldwert, D., Pei, Y., Chakroff, A., Pronizius, E., van den Broek, K. L., Vlasceanu, D., Constantino, S., Morais, M. J., Schumann, P., Rathje, S., Fang, K., Aglioti, S. M. *et al*. 2024, 'Addressing climate change with behavioral science: A global intervention tournament in 63 countries', *Science Advances*, vol. 10, no. 6, eadj5778. Disponible en: https://doi.org/10.1126/sciadv.adj5778.
- Wing, I. S., Larsen, P. H., Carvallo, J. P., Sanstad, A., Wei, D., Rose, A., Baik, S., Smith, J., Ramee, C. & Peterson, R. 2025, 'A Method to estimate the economy-wide consequences of widespread, long duration electric power interruptions', *Nature Communications*, vol. 16, no. 1, 3335. Disponible en: https://doi.org/10.1038/s41467-025-58537-4.
- World Bank, FAO & WFP 2025, *Strengthening strategic grain reserves to enhance food security*. Disponible en: https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/9b5e0861-e981-4f9e-820a-84030ed1d981/content.
- WWF n.d., *España será uno de los países europeos con mayor riesgo de sufrir estrés hídrico en menos de 30*, viewed 12 June 2025, https://www.wwf.es/?61600/Espana-sera-uno-de-los-paises-europeos-con-mayor-riesgo-de-sufrir-estres-hidrico-en-menos-de-30-anos-si-no-se-toman-medidas.
- WWF 2023, 'Durante la manifestación con motivo de la COP 28, del 3 de diciembre en Madrid, presentamos la factura más larga de la historia', *WWF*. Disponible en: https://www.wwf.es/?65941/Durante-la-manifestacion-con-motivo-de-la-COP-28-del-3-de-diciembre-en-Madrid-presentamos-la-factura-mas-larga-de-la-historia.

- Xie, X., Hao, M., Ding, F., Scheffran, J., Ide, T., Maystadt, J.-F., Qian, Y., Wang, Q., Chen, S., Wu, J., Sun, K., Ma, T. & Jiang, D. 2024, 'The impacts of climate change on violent conflict risk: A review of causal pathways', *Environmental Research Communications*, vol. 6, no. 11, 112002. Disponible en: https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad8a21.
- Zarza, L.F. 2024, 'Las fugas en las redes de agua en España: una crisis invisible', *Redacción iagua*. Disponible en: https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/fugas-redes-agua-espana-crisis-invisible.

ericc
Evaluación de
Riesgos e Impactos
del Cambio Climático

PARTE III

Resultados



2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Orientaciones para establecer prioridades

de políticas y medidas de adaptación

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Coordinación del capítulo

Laro González Canoura (IH Cantabria)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita. © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

González Canoura, L. (2025) Orientaciones para establecer prioridades. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Introducción / pág. 1418

2. Metodología / pág. 1419

2.1. Determinación de la urgencia / pág. 1420

2.2. Evaluación del nivel de confianza y seguimiento recomendado / pág. 1421

2.3. Análisis de Interacciones y Modalidades de Gestión del Riesgo / pág. 1422

3. Orientación para la priorizacion de medidas / pág. 1423

3.1. Riesgos de urgencia máxima / pág. 1424

3.2. Riesgos con necesidad de seguimiento avanzado / pág. 1425

3.3. Riesgos que requieren una gestión coordinada / pág. 1427

3.4. Riesgos con prioridades múltiples / pág. 1429

4. Anexo 1. Tabla resumen. Orientaciones para establecer prioridades / pág. 1431

1. Introducción

En la Evaluación Nacional de los Riesgos e Impactos del Cambio Climático en España (ERICC-2025) se adopta un enfoque integral y progresivo para el análisis de los riesgos climáticos, estructurado en tres aproximaciones complementarias: En primer lugar, se aborda el análisis desde una perspectiva sectorial, en cambio, dado que los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados, se ha llevado a cabo un análisis de las principales interacciones entre riesgos clave —análisis de riesgos complejos— y por último, en este apartado se lleva a cabo una aproximación estratégica: una orientación para la toma de decisiones.

Cada ficha de riesgos clave dentro de los capítulos de ámbitos sectoriales contiene un apartado de “Recomendaciones de priorización”, en el que se reflejan los resultados de este análisis.

2. Metodología

Esta metodología se basa en tres pilares:

1. La determinación de la **urgencia** del riesgo.
2. La evaluación del **nivel de confianza** respecto a la severidad de los impactos asociados al riesgo y la consiguiente necesidad de seguimiento.
3. La consideración de las **interacciones entre riesgos,** como resultado del análisis de riesgos complejos.

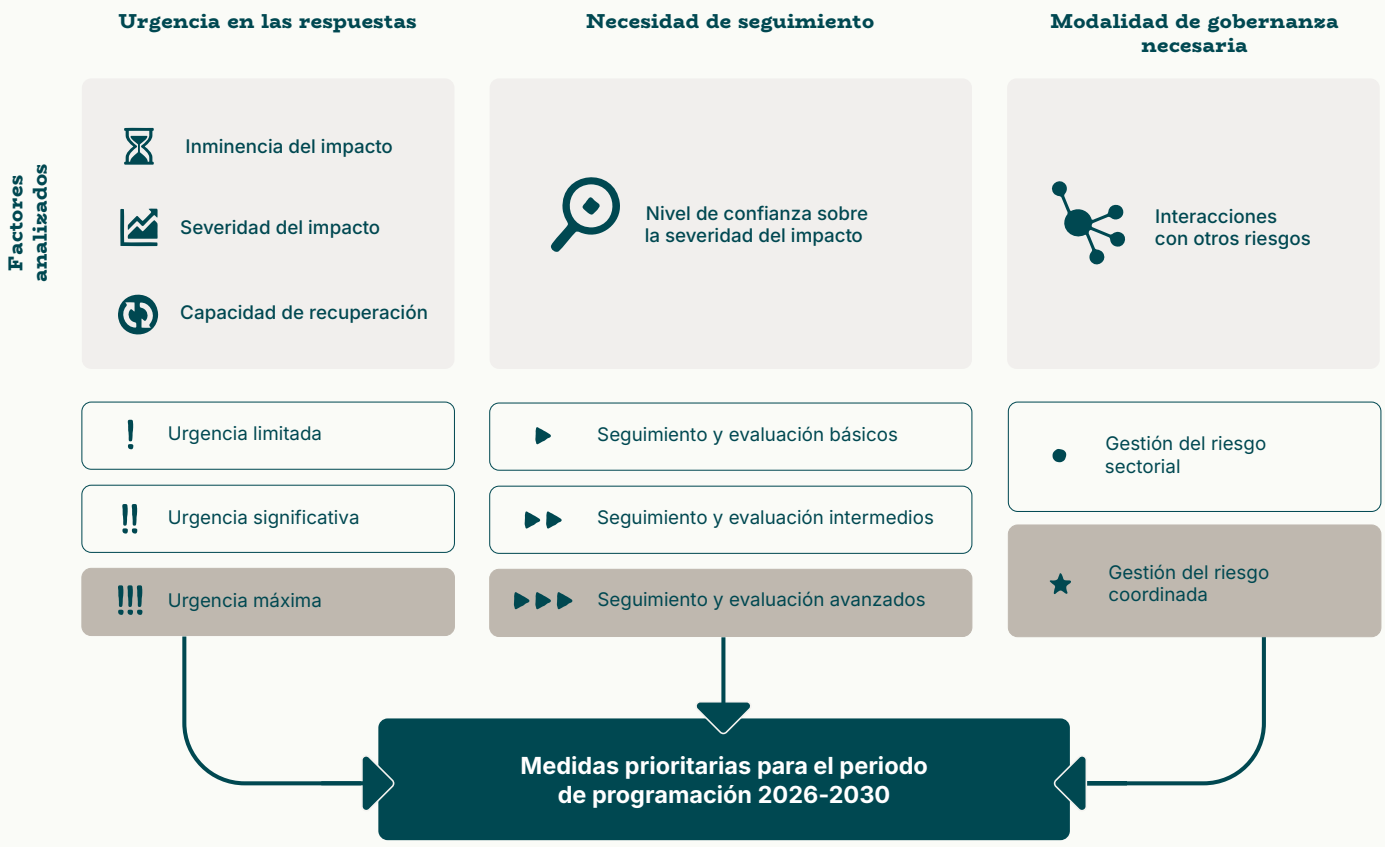


Figura 1. Marco para orientar la priorización de medidas y políticas de adaptación.

2.1. Determinación de la urgencia

La urgencia de un riesgo se calcula a partir de la combinación de tres factores clave analizados previamente para cada riesgo clave en distintas fases del proyecto conforme a la metodología establecida en el proyecto:

- Severidad del impacto esperado: se toma el nivel de impacto de la ficha de riesgo clave para corto y medio plazo, y se pondera la combinación de ambos (70 % Corto / 30 % Medio), para así reflejar su evolución.

- Inminencia o proximidad temporal del riesgo: hace referencia al tiempo que se estima puede transcurrir, desde el periodo de referencia, hasta que se materialice el riesgo de manera significativa. Obtenida a partir del Análisis Multicriterio (AMC) (ver material complementario al proyecto).

- Capacidad de recuperación ante el impacto: representa la dificultad o facilidad para volver al estado anterior a que suceda el impacto medida en términos temporales. Obtenido del AMC.

De esta manera, el nivel de urgencia permite establecer categorías de priorización temporales basados tanto en inminencia como magnitud de los potenciales daños.

Con base en estos tres factores, se clasifica el nivel de urgencia en una de las siguientes categorías:

Urgencia limitada

Esta categoría se establece para riesgos que no se consideran inminentes y cuyos impactos son moderados o para los que existe una buena capacidad de respuesta y recuperación. No requieren acciones adicionales inmediatas, no obstante, hay que valorar y en su caso programar medidas para afrontar este riesgo. Además, deben permanecer bajo observación para valorar su evolución.

Urgencia significativa

Esta categoría se establece para riesgos con impactos relevantes, previsibles en el corto / medio plazo y que requieren planificación y preparación de respuestas en un horizonte temporal cercano.

Urgencia máxima

Esta categoría se establece para riesgos inminentes y con impactos severos o de difícil recuperación. Requieren respuestas inmediatas y priorización en la toma de decisiones.

2.2. Evaluación del nivel de confianza[1] y seguimiento recomendado

La priorización debe ser contextualizada en función del nivel de confianza que se tenga en el análisis del riesgo. Esto influye directamente en el seguimiento y evaluación recomendados:

- **Seguimiento básico**

Se recomienda cuando el análisis cuenta con datos suficientes y validados. En este caso se requiere un seguimiento periódico. Se posee un nivel de confianza alto que se refleja en la correspondiente ficha del riesgo (ver capítulos sectoriales).

- **Seguimiento intermedio**

En este caso existen incertidumbres en el análisis (por ejemplo, en la magnitud del impacto o en la exposición). Se requiere una evaluación más detallada y estudios complementarios. Se posee un nivel de confianza medio que se refleja en la correspondiente ficha del riesgo (ver capítulos sectoriales).

- **Seguimiento avanzado**

Se recomienda cuando el nivel de confianza es bajo o muy bajo debido a carencias de información, variabilidad alta o complejidad del fenómeno. En este caso se requiere un mayor esfuerzo en la recopilación y análisis de datos, así como un seguimiento continuo.

[1] De los tres niveles de confianza evaluados, se seleccionará aquel correspondiente al horizonte temporal previamente identificado en el que sea más probable la materialización del riesgo.

2.3. Análisis de Interacciones y Modalidades de Gestión del Riesgo

Los riesgos climáticos suelen estar interconectados. Una lectura exclusivamente sectorial puede ocultar efectos en cascada y dinámicas de amplificación del riesgo entre sectores. Para capturar estas dinámicas, se aplica un análisis de riesgos complejos (ver *Capítulo Riesgos Complejos*), que permite definir la modalidad de gestión más adecuada.

Gestión sectorial

Se recomienda cuando las medidas y políticas para la gestión del riesgo se pueden abordar principalmente dentro de un único ámbito de la gestión pública. Las medidas recomendadas son específicas del sector afectado o en colaboración con uno o dos sectores adicionales. Este enfoque no excluye la necesidad de una coordinación intersectorial.

Gestión Coordinada

Se recomienda cuando el riesgo forma parte de una red densa de interacciones. Es necesaria una gobernanza transversal, con estructuras de toma de decisiones compartidas y planificación conjunta que permita gestionar el riesgo desde perspectivas complementarias.

3. Orientación para la priorizacion de medidas

La combinación de los tres factores analizados —urgencia, seguimiento y modalidad de gobernanza— permite establecer una base para la priorización de medidas en el periodo de programación 2026–2030.

En concreto, deberían priorizarse políticas y medidas que den respuesta a:

- Un riesgo considerado de urgencia máxima.
- La necesidad de seguimiento avanzado debido a bajos niveles de confianza.
- La necesidad de gestión integrada, debido a la alta complejidad e interacciones relevantes entre riesgos.

3.1. Riesgos de urgencia máxima

Se han identificado 13 riesgos con urgencia máxima. Estos corresponden a los ámbitos de Salud Humana, Agua y Recursos Hídricos, Patrimonio Natural, Ciudad, y Paz y Cohesión Social. Estos riesgos requieren intervención inmediata y priorización en la toma de decisiones, debido a su inminencia, probabilidad y severidad de los impactos. 31 riesgos han sido identificados como de urgencia significativa, y 7 riesgos como de urgencia limitada.

Tabla 1. Riesgos con urgencia máxima

RC1.1	Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (personas ancianas, infancia, o con enfermedades previas).
RC1.3	Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura.
RC2.1	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
RC2.2	Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales.
RC3.1	Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.
RC3.2	Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.).
RC3.3	Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.
RC3.4	Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a cambios en las variables climáticas.
RC7.1	Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos
RC7.3	Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas.
RC7.4	Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas.
RC14.1	Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.
RC14.2	Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.

3.2. Riesgos con necesidad de seguimiento avanzado

Se han identificado 18 riesgos con necesidad de seguimiento avanzado. Estos corresponden a los ámbitos de Ciudad, Patrimonio Cultural, Energía, Transporte, Industria y Servicios, Turismo, Sector Financiero y Asegurador, y Paz y Cohesión Social. Estos riesgos requieren más investigación, así como un seguimiento continuo, debido a las carencias de información o alta complejidad de los fenómenos analizados. Así mismo, 24 riesgos necesitarían un seguimiento intermedio y 9 riesgos un seguimiento básico.

Tabla 2. Riesgos que requieren seguimiento avanzado

RC7.3	Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas.
RC7.4	Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas.
RC8.1	Riesgo de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos históricos debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales.
RC8.2	Riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios.
RC8.3	Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera.
RC9.2	Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica.
RC9.3	Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas.
RC10.2	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos.
RC10.3	Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos.
RC10.4	Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos.

Sigue en la página 1426

Viene de la página 1426

RC11.2	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico.
RC11.3	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas.
RC11.4	Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstos dependen de las condiciones climáticas.
RC12.2	Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos.
RC13.1	Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.
RC13.2	Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por eventos climáticos extremos.
RC13.3	Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez.
RC14.3	Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.

3.3. Riesgos que requieren una gestión coordinada

Se ha identificado 24 riesgos que requiere gestión coordinada del riesgo (Tabla 3). Estos están distribuidos en la mayoría de los ámbitos, pero especialmente en Agua y Recursos Hídricos, Patrimonio Natural, Forestal, Agricultura, Ciudad, Sector Financiero y Asegurador. Estos riesgos requieren una gobernanza transversal, con estructuras de toma de decisiones compartidas y planificación conjunta debido a su alta interacción con otros sectores y riesgos clave. Los 27 riesgos restantes se pueden gestionar a nivel sectorial.

Tabla 3. Riesgos que requieren gestión coordinada

RC2.1	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
RC2.2	Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales.
RC2.3	Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes.
RC3.1	Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.
RC3.3	Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.
RC3.4	Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a cambios en las variables climáticas.
RC4.1	Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima.
RC4.2	Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo de los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema.
RC4.4	Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.
RC4.5	Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.
RC5.1	Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.
RC5.2	Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.
RC5.3	Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones.

Sigue en la página 1428

Viene de la página 1428

RC6.2	Riesgos de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.
RC7.1	Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos.
RC7.2	Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas)
RC11.4	Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstos dependen de las condiciones climáticas.
RC12.3	Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos.
RC13.1	Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.
RC13.2	Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por eventos climáticos extremos.
RC13.4	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.
RC14.1	Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.
RC14.2	Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.
RC14.3	Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.

3.4. Riesgos con prioridades múltiples

Dentro del análisis de priorización han surgido 14 riesgos con máxima prioridad en al menos 2 criterios de priorización (Tabla 4). Estos corresponden a los ámbitos de Agua y Recursos Hídricos, Patrimonio Natural, Ciudad y Urbanismo, Industria y Servicios, Sector Financiero y Asegurador, y Paz y Cohesión Social. Esto se debe principalmente a la alta interconectividad de muchos riesgos entre sí, junto con los déficits de información significativos en la evaluación de ellos.

Tabla 4. Riesgos con máxima prioridad en al menos 2 criterios de priorización

RC2.1	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
RC2.2	Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales.
RC3.1	Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.
RC3.3	Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.
RC3.4	Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a cambios en las variables climáticas.
RC7.1	Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos.
RC7.3	Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas.
RC7.4	Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas.
RC11.4	Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstos dependen de las condiciones climáticas.
RC13.1	Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.
RC13.2	Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por eventos climáticos extremos.

Sigue en la página 1429

Viene de la página 1430

RC14.1	Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático
RC14.2	Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático .
RC14.3	Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.

4. Anexo 1. Tabla resumen. Orientaciones para establecer prioridades

Código según los factores analizados

Urgencia		Necesidad de seguimiento		Necesidad de gestión	
Limitada	!	Básico	▶	Sectorial	●
Significativa	!!	Intermedio	▶▶	Coordinada	★
Máxima	!!!	Avanzado	▶▶▶		

Riesgos clave			Urgencia	Necesidad de seguimiento	Necesidad de gestión
1. SALUD	RC1.1	Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (personas ancianas, infancia, o con enfermedades previas).	!!!	▶	●
	RC1.2	Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas.	!!	▶▶	●
	RC1.3	Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura.	!!!	▶	●
2. AGUA	RC2.1	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.	!!!	▶	★
	RC2.2	Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales.	!!!	▶▶	★
	RC2.3	Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes.	!!	▶▶	★

Viene de la página 1432

Riesgos clave			Urgencia	Necesidad de seguimiento	Necesidad de gestión
3. PATRIMONIO NATURAL	RC3.1	Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.	!!!	▶	★
	RC3.2	Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.).	!!!	▶▶	●
	RC3.3	Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.	!!!	▶▶	★
	RC3.4	Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a cambios en las variables climáticas.	!!!	▶▶	★
4. SECTOR FORESTAL	RC4.1	Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima.	!!	▶	★
	RC4.2	Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo de los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema.	!!	▶▶	★
	RC4.3	Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios en las variables climáticas.	!!	▶▶	●
	RC4.4	Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.	!!	▶▶	★
	RC4.5	Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.	!!	▶▶	★

Sigue en la página 1433

Viene de la página 1433

Riesgos clave			Urgencia	Necesidad de seguimiento	Necesidad de gestión
5. AGRICULTURA Y GANADERÍA	RC5.1	Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.	!!	▶▶	★
	RC5.2	Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.	!!	▶▶	★
	RC5.3	Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones.	!!	▶▶	★
	RC5.4	Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas.	!!	▶▶	●
6. COSTAS	RC6.1	Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo.	!!	▶	●
	RC6.2	Riesgos de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.	!!	▶	★
	RC6.3	Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección y portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.	!!	▶▶	●
	RC6.4	Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano.	!!	▶▶	●

Sigue en la página 1434

Viene de la página 1434

Riesgos clave			Urgencia	Necesidad de seguimiento	Necesidad de gestión
7. CIUDAD	RC7.1	Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos.	!!!	▶	★
	RC7.2	Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).	!!	▶▶	★
	RC7.3	Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. Por altas temperaturas.	!!!	▶▶▶	●
	RC7.4	Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas.	!!!	▶▶▶	●
8. PATRIMONIO CULTURAL	RC8.1	Riesgo de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos históricos debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales.	!!	▶▶▶	●
	RC8.2	Riesgo de daños en el patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios.	!!	▶▶▶	●
	RC8.3	Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera.	!!	▶▶▶	●
9. ENERGÍA	RC9.1	Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos.	!	▶	●
	RC9.2	Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica.	!	▶▶▶	●
	RC9.3	Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas.	!	▶▶▶	●

Sigue en la página 1435

Viene de la página 1435

Riesgos clave			Urgencia	Necesidad de seguimiento	Necesidad de gestión
10. TRANSPORTE	RC10.1	Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos.	!!	▶▶	●
	RC10.2	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos.	!!	▶▶▶	●
	RC10.3	Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos.	!	▶▶▶	●
	RC10.4	Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos.	!	▶▶▶	●
11. INDUSTRIA Y SERVICIOS	RC11.1	Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos.	!!	▶▶	●
	RC11.2	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico.	!!	▶▶▶	●
	RC11.3	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas.	!!	▶▶▶	●
	RC11.4	Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstos dependen de las condiciones climáticas.	!!	▶▶▶	★
12. TURISMO	RC12.1	Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasarse los umbrales de confort.	!	▶▶	●
	RC12.2	Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos.	!!	▶▶▶	●
	RC12.3	Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos.	!!	▶▶	★

Sigue en la página 1436

Viene de la página 1436

Riesgos clave			Urgencia	Necesidad de seguimiento	Necesidad de gestión
13. FINANCIERO	RC13.1	Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.	!!	▶▶▶	★
	RC13.2	Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático.	!!	▶▶▶	★
	RC13.3	Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez.	!	▶▶▶	●
	RC13.4	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.	!!	▶▶	★
14. PAZ, SEGURIDAD Y COHESIÓN SOCIAL	RC14.1	Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.	!!!	▶▶	★
	RC14.2	Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.	!!!	▶▶	★
	RC14.3	Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.	!!	▶▶▶	★

2025

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Análisis de riesgos complejos

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este capítulo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autor/Autores del capítulo

Autor: Daniel Navarro Cueto (Tecnalia)

Contribuyentes: Beñat Abajo Alda (Tecnalia), María Ayelén Calvet (Tecnalia), Efrén Feliu Torres (Tecnalia)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

Navarro, D. (2025). Análisis de riesgos complejos. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Contenido

1. Introducción / pág. 1441

2. Modelo de riesgos complejos / pág. 1444

3. Análisis de métricas de los riesgos complejos / pág. 1452

3.1. Grado de salida / pág. 1455

3.2. Grado de entrada / pág. 1457

3.3. Cercanía / pág. 1459

3.4. Intermediación / pág. 1461

4. Mapeo de relaciones directas entre riesgos / pág. 1464

4.1. Salud humana / pág. 1464

4.2. Agua y recursos hídricos / pág. 1466

4.3. Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas / pág. 1468

4.4. Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental / pág. 1471

4.5. Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación / pág. 1474

4.6. Costas y medio marino / pág. 1477

4.7. Ciudad, urbanismo y edificación / pág. 1480

4.8. Patrimonio cultural / pág. 1482

4.9. Energía / pág. 1484

4.10. Movilidad y transporte / pág. 1486

4.11. Industria y servicios / pág. 1489

4.12. Turismo / pág. 1491

4.13. Sistema financiero y actividad aseguradora / pág. 1493

4.14. Paz, seguridad y cohesión social / pág. 1496

5. Conclusiones / pág. 1498

1. Introducción

Los riesgos climáticos no operan de forma aislada, sino que están profundamente interconectados. Una aproximación exclusivamente sectorial de los riesgos limita la comprensión de estas interacciones y dificulta la identificación de efectos en cascada que trascienden los límites de cada sector. Con este objetivo, se ha desarrollado un análisis específico de **riesgos complejos** orientado a identificar conexiones críticas entre sectores, dependencias cruzadas y posibles efectos en cascada, contribuyendo así a una planificación de la adaptación más robusta y coherente.

El análisis de riesgos complejos parte de los 51 riesgos clave identificados para los 14 ámbitos sectoriales objeto de este proyecto y busca superar las limitaciones de este primer análisis meramente sectorial mediante el desarrollo de un enfoque más integrado y sistémico. Esta necesidad de integración ha sido ampliamente reconocida tanto en la literatura científica [1, 2 y 3] como en los marcos internacionales de evaluación del riesgo. En particular, el enfoque propuesto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en sus informes más recientes [4], subraya la importancia de considerar los riesgos complejos, entendidos como aquellos que emergen de la interacción entre múltiples factores físicos, sociales, económicos y ambientales, y que pueden amplificarse mutuamente a través de mecanismos no lineales.

En línea con esta perspectiva, el estudio adopta una definición operativa de riesgo complejo como aquel que no puede ser comprendido plenamente mediante el análisis de sus componentes individuales, sino que requiere una aproximación sistémica que tenga en cuenta las interacciones, retroalimentaciones y dinámicas emergentes del sistema en su conjunto. Este tipo de riesgos se

[1] Stergiopoulos, G., Kotzanikolaou, P., Theocharidou, M., Gritzalis, D., 2015. Risk mitigation strategies for critical infrastructures based on graph centrality analysis. International Journal of Critical Infrastructure Protection 10, 34–44. https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.05.003

[2] Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempert, R.J., Muccione, V., Mackey, B., New, M.G., O'Neill, B., Otto, F., Pörtner, H.-O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D.N., Seneviratne, S., Strongin, S., Aalst, M. van, Totin, E., Trisos, C.H., 2021. A framework for complex climate change risk assessment. One Earth 4, 489–501. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590332221001792

[3] Sillmann, J., Christensen, I., Hochrainer-Stigler, S., Huang-Lachmann, J.-T., Juhola, S., Kornhuber, K., Mahecha, M., Mechler, R., Reichstein, M., Ruane, A., Schweizer, P.-J., Williams, S., 2022. Briefing Note Systemic Risks: Review and Opportunities for Research, Policy and Practice from the Perspective of Climate, Environmental and Disaster Risk Science and Management. https://doi.org/10.24948/2022.01

[4] IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama, Eds.). Cambridge University Press.

caracteriza por su alta incertidumbre, su potencial de generar efectos en cascada y su capacidad de atravesar fronteras sectoriales y geográficas. Ejemplos de riesgos complejos incluyen la inseguridad alimentaria por sequías prolongadas, migraciones forzadas por degradación o pérdida de medios de vida, o la inestabilidad financiera derivada de impactos simultáneos en sectores clave.

Para abordar esta complejidad se ha desarrollado un modelo analítico basado en teoría de grafos, una herramienta matemática que permite representar y analizar sistemas compuestos por elementos interconectados. En este caso, **cada nodo del grafo representa un riesgo identificado**, mientras **que las aristas —flechas que unen dos nodos— indican relaciones de influencia entre ellos.** Este enfoque permite visualizar la estructura del sistema de riesgos, identificar nodos clave y calcular métricas que ofrecen información sobre la posición y el papel de cada riesgo dentro de la red. Se utilizan distintas métricas para analizar el sistema —como el grado de entrada y salida, la centralidad de cercanía y la centralidad de intermediación—, que se explican más adelante. Cada una de ellas aporta una perspectiva distinta sobre la dinámica del sistema.

El desarrollo del modelo se ha llevado a cabo mediante un enfoque participativo, que ha incluido la realización de dos talleres con actores clave de distintos sectores. El primer taller tuvo como objetivo presentar el ejercicio, validar la selección de riesgos y establecer las relaciones entre ellos a partir del conocimiento experto de los participantes. Este proceso permitió construir una base sólida y consensuada para el modelo, incorporando múltiples perspectivas sectoriales. El segundo taller se centró en la socialización de los resultados preliminares, lo que permitió contrastar los hallazgos con la experiencia práctica de los actores involucrados y enriquecer la interpretación de los datos. Esta metodología participativa ha sido fundamental para garantizar la relevancia y aplicabilidad de los resultados, así como para fomentar el diálogo intersectorial y la construcción colectiva de conocimiento.

A partir de la información recopilada, se desarrollaron varios modelos alternativos que permiten explorar diferentes configuraciones del sistema de riesgos. Estos modelos varían en función de los criterios utilizados para establecer las relaciones entre riesgos, lo que permite analizar la robustez de los resultados y comparar distintas hipótesis sobre la dinámica del sistema. Esta estrategia de modelización múltiple responde a la necesidad de capturar la incertidumbre inherente al análisis de sistemas complejos y de ofrecer una visión más completa de las posibles trayectorias de riesgo.

Una vez construidos los modelos, se procedió al cálculo de diversas métricas las cuales son explicadas en mayor detalle más adelante. El **grado de salida** se utilizó para identificar los riesgos con mayor capacidad de generar impactos en otros, mientras que el **grado de entrada** permitió detectar aquellos más vulnerables a influencias externas. La **centralidad de cercanía** se empleó para evaluar la rapidez con la que un riesgo puede verse afectado por el resto del sistema, es

decir el número de saltos que deben producirse para afectar de un riesgo a otro, y la **centralidad de intermediación** permitió identificar los nodos que actúan como puentes en la propagación de efectos. Estas métricas ofrecen una base cuantitativa para priorizar intervenciones, identificar puntos críticos y diseñar estrategias de gestión del riesgo más eficaces.

En conjunto, este enfoque permite avanzar hacia una comprensión más integrada y dinámica de los riesgos climáticos, superando ciertas limitaciones de los análisis sectoriales tradicionales. Al combinar herramientas analíticas rigurosas con procesos participativos inclusivos, el estudio contribuye a fortalecer la capacidad de anticipación y respuesta frente a los desafíos complejos que plantea el cambio climático. Los resultados obtenidos no solo tienen implicaciones para la formulación de políticas públicas, sino que también ofrecen una base sólida para el diseño de estrategias de adaptación y resiliencia que consideren la naturaleza interdependiente y sistémica del riesgo.

Este capítulo se organiza de la siguiente manera:

- En el apartado **Modelo de riesgos complejos** se describe el modelo desarrollado para el análisis de los riesgos complejos.
- En **Análisis de métricas de los riesgos complejos** se muestran las métricas calculadas para los diferentes riesgos de grado de salida, grado de entrada, cercanía e intermediación.
- En el apartado **Mapeo de relaciones directas entre riesgos** se muestran las relaciones directas de entrada y salida de cada riesgo.
- Por último, en **Conclusiones** se recogen las principales conclusiones derivadas del análisis de riesgos complejos realizado.

2. Modelo de riesgos complejos

Se han analizado un total de 51 riesgos pertenecientes a los 14 sectores contemplados en el proyecto (Tabla 1).

Tabla 1. Sectores y riesgos clave analizados.

Sector	Código	Riesgo
1. Salud humana	RC1.1	Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (personas ancianas, infancia, o con enfermedades previas)
	RC1.2	Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas
	RC1.3	Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al incremento de la contaminación atmosférica
2. Agua y recursos hídricos	RC2.1	Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración
	RC2.2	Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival
	RC2.3	Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes
3. Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas	RC3.1	Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles
	RC3.2	Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.)
	RC3.3	Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas
	RC3.4	Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Sector	Código	Riesgo
4. Forestal, desertificación, caza y pesca continental	RC4.1	Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima
	RC4.2	Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo por cambios de temperatura y, particularmente, la lluvia sobre todo extrema
	RC4.3	Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios en las variables climáticas
	RC4.4	Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales
	RC4.5	Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático
5. Agricultura, Ganadería, pesca y acuicultura y alimentación	RC5.1	Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua
	RC5.2	Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos
	RC5.3	Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones
	RC5.4	Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o a los cambios en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas
6. Costas y medio marino	RC6.1	Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo
	RC6.2	Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleaje extremos
	RC6.3	Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección y portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos
	RC6.4	Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial y la acidificación del mar

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Sector	Código	Riesgo
7. Ciudad, urbanismo y edificación	RC7.1	Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos
	RC7.2	Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas)
	RC7.3	Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas
	RC7.4	Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas
8. Patrimonio cultural	RC8.1	Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del mar y erosión costera
	RC8.2	Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales
	RC8.3	Riesgo de daños en elementos del patrimonio etnográfico material y en los paisajes culturales debido al mayor riesgo de incendios asociado al cambio climático
9. Energía	RC9.1	Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos
	RC9.2	Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica
	RC9.3	Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Sector	Código	Riesgo
10. Movilidad y Transporte	RC10.1	Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos
	RC10.2	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras (taludes, calzada, firmes de carretera y puentes) debido a eventos extremos (temperatura extrema, inundaciones fluviales, pluviales y costeras)
	RC10.3	Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (temperatura extrema, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, nieblas, incendios, nieve)
	RC10.4	Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos (incendios, inundaciones fluviales, costeras, pluviales, precipitaciones intensas, incendios, nieve, hielo, vientos extremos)
11. Industria y Servicios	RC11.1	Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos
	RC11.2	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico
	RC11.3	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas
	RC11.4	Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas dependen de las condiciones climáticas (ganadería, agricultura, silvicultura, etc.)
12. Turismo	RC12.1	Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasar los umbrales de confort
	RC12.2	Riesgo de un aumento de la percepción de falta de seguridad de los turistas debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos
	RC12.3	Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Sector	Código	Riesgo
13. Sistema financiero y actividad aseguradora	RC13.1	Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático
	RC13.2	Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático
	RC13.3	Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez
	RC13.4	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima
14. Paz, seguridad y cohesión social	RC14.1	Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático
	RC14.2	Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados de amenazas climáticas
	RC14.3	Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos

Para el desarrollo del modelo de riesgos complejos se ha llevado a cabo un proceso participativo que contó con la colaboración de personas expertas en distintos ámbitos sectoriales. Estas aportaciones se recogieron mediante el uso de matrices de adyacencia diseñadas para relacionar los riesgos clave.

Como primer paso del proceso, se organizó un taller introductorio en el que se presentó la metodología empleada para abordar los riesgos complejos.

Una vez realizado el primer taller, se abrió un periodo para que la OECC, Consorcio y el Grupo asesor completaran las matrices de adyacencia, destinadas a identificar las interrelaciones entre los riesgos clave. Estas matrices contienen, tanto en filas como en columnas, los riesgos clave descritos en la **Tabla 1**.

Los resultados obtenidos fueron compartidos y discutidos en un segundo taller. Durante este encuentro se identificó la necesidad de reforzar el número de matrices obtenidas en algunos sectores, así como el interés generado por los resultados preliminares. Esto motivó la apertura de un segundo periodo para completar las matrices pendientes.

En total se recibieron 63 matrices de adyacencia de las diferentes organizaciones que han participado en este proyecto (Tabla 2).

Tabla 2. Matrices recibidas.

	Cantidad de matrices por tipo de actor			
Sectores	OECC	Consorcio	Grupo asesor	Total
1. Salud humana	1	1	2	4
2. Agua y recursos hídricos	1	1	7	9
3. Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas	1	1	1	3
4. Forestal, desertificación, caza y pesca continental	1	1	2	4
5. Agricultura, Ganadería, pesca, acuicultura y alimentación	1	1	2	4
6. Costas y medio marino	1	1	2	4
7. Ciudad, urbanismo y edificación	2	2	2	6
8. Patrimonio cultural	1	2	1	4
9. Energía	1	1	2	4
10. Movilidad y Transporte	2	2	1	5
11. Industria y Servicios	2	2	1	5
12. Turismo	1	1	2	4
13. Sistema financiero y actividad aseguradora	1	1	1	3
14. Paz, seguridad y cohesión social	1	2	1	4
Total	**17**	**19**	**27**	**63**

Los modelos de riesgos complejos desarrollados se basan en la teoría de grafos. Esta rama de las matemáticas, con aplicaciones en campos muy diversos, estudia las propiedades de los grafos, que pueden entenderse como un par ordenado compuesto por un conjunto de vértices y aristas. En este caso, los vértices (nodos) representan los 51 riesgos clave, mientras que las aristas se refieren a las relaciones entre ellos, obtenidas a través de las matrices de adyacencia. Estos modelos permiten comprender de manera analítica las interacciones entre los riesgos, integrando las perspectivas de los participantes según sus áreas de especialización, y ofreciendo así una visión más completa de sus interrelaciones.

Con el fin de abordar posibles desequilibrios en la cumplimentación de las matrices, derivados de la participación desigual entre sectores, así como las divergencias en las valoraciones realizadas por los distintos participantes, se desarrollaron una serie de modelos bajo diferentes criterios metodológicos.

Todos los modelos tienen 51 nodos que se corresponden con los riesgos clave analizados y un número variable de enlaces o aristas en función del criterio adoptado en cada modelo. El primer modelo estudiado es el más permisivo, ya que considera que existe una relación si ésta aparece al menos en una de las matrices de adyacencia, dando lugar a un grafo con 1.770 enlaces. En el segundo modelo únicamente se incluye una relación si la mayoría de los expertos —más del cincuenta por ciento— así lo considera, obteniéndose un grafo con 938 enlaces. El tercer modelo es el único ponderado, debido a que incluye todas las relaciones (1.770 enlaces), pero asigna a cada arista un peso según el grado de acuerdo entre los participantes, obtenido de las matrices de adyacencia. Por último, el modelo seleccionado es una combinación del segundo y del tercero, aplicando un criterio de acuerdo más restrictivo en la inclusión de las relaciones existentes entre riesgos. Este modelo da lugar a 372 enlaces.

A continuación, se muestra el grafo del modelo seleccionado (**Figura 1**). Los nodos representan los riesgos clave siguiendo la nomenclatura RCX.Y, donde “X” es el sector —asociado a un único color— e “Y” es el riesgo clave dentro de dicho sector. Los enlaces, por su parte, representan las relaciones entre los riesgos clave. Para seleccionar el modelo más adecuado, se aplicaron métricas globales que permiten analizar el grafo en su conjunto y facilitan la compresión general del modelo teniendo en cuenta el número final de aristas, la cantidad de pares de conexiones mutuas, la densidad y el diámetro del grafo. El modelo seleccionado es el que mejor identifica las relaciones más significativas y filtra los valores erróneos de forma más completa, dando lugar a un modelo más robusto y consistente.

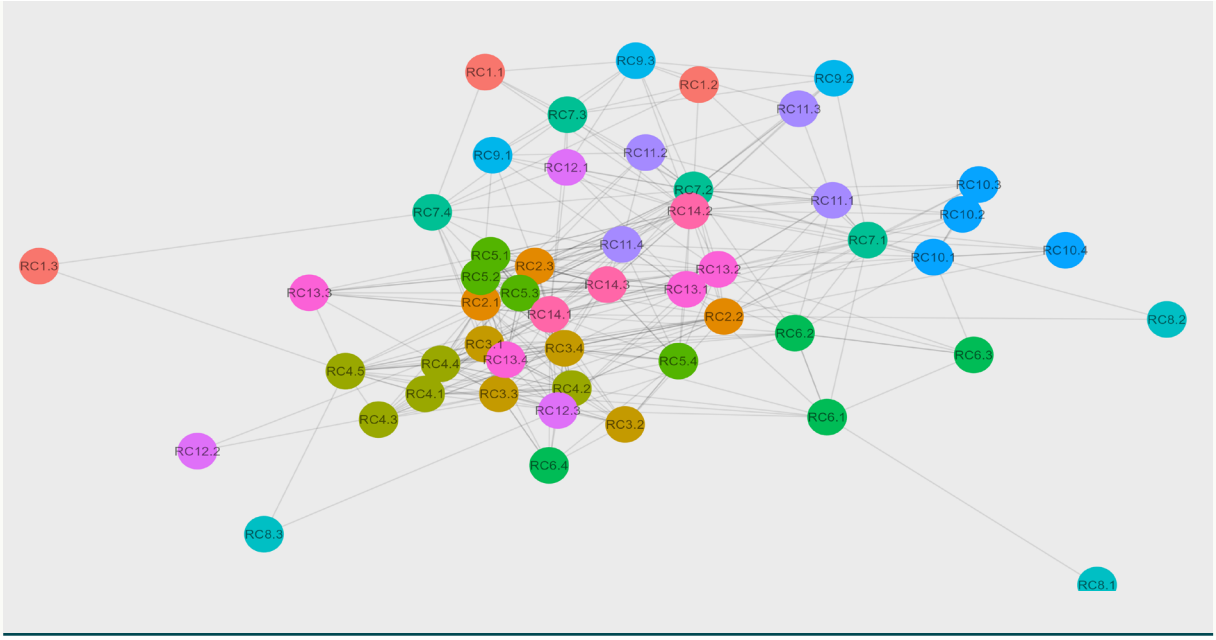


Figura 1. Modelo de riesgos complejos seleccionado.

Este modelo es el más restrictivo a la hora de considerar si existe una relación entre los riesgos clave. Esto permite destacar las relaciones con un mayor grado de acuerdo y filtrar posibles errores que se hayan podido producir al rellenar las matrices de adyacencia. Para ello, se dividen las matrices recibidas por sectores y se calcula el grado de acuerdo intrasectorial de las relaciones existentes entre riesgos clave. A continuación, se combinan las matrices sectoriales para obtener una única matriz con las medias de los acuerdos intra e intersectoriales. El último paso consiste en filtrar las relaciones considerando un nivel de acuerdo de 0,7: cuando el acuerdo sea inferior a este valor no se incluye la relación, y cuando sea igual o mayor se incluye la relación.

El modelo seleccionado se compone de 51 nodos y 372 enlaces. Se identifican 57 pares con conexiones mutuas, es decir, existe un enlace entre el riesgo *i* y el riesgo *j*, y a su vez existe un enlace entre el riesgo *j* y el riesgo *i*.

La densidad representa la proporción de relaciones existentes entre riesgos, respecto al total posible. En este caso, la densidad es de 0.146 —14,6 %—.

El diámetro de un grafo es el número máximo de pasos (o enlaces) que hay que recorrer para ir de un nodo a otro siguiendo el camino más corto posible —geodésico—. En este caso, el diámetro es 7, lo que significa que los dos riesgos más alejados entre sí están conectados por un camino mínimo de 7 pasos.

En los siguientes apartados se mostrarán los resultados para el modelo seleccionado.

3. Análisis de métricas de los riesgos complejos

En este apartado se analizan los riesgos complejos de forma sistémica para el modelo seleccionado. Por ello, se muestra una aproximación al modelo de forma integral, teniendo en cuenta todos los riesgos y las relaciones que existen entre ellos y se exponen una serie de métricas calculadas sobre el modelo de grado de salida, grado de entrada, cercanía e intermediación (Tabla 3).

Tabla 3. Métricas obtenidas.

Riesgo	Grado entrada	Grado salida	Cercanía	Intermediación
RC1.1	5	0	0,000	0,000
RC1.2	5	0	0,000	0,000
RC1.3	2	0	0,000	0,000
RC2.1	2	26	0,012	281,366
RC2.2	5	18	0,011	257,000
RC2.3	9	15	0,008	150,622
RC3.1	8	17	0,010	46,915
RC3.2	7	6	0,008	9,767
RC3.3	10	15	0,010	116,670
RC3.4	17	16	0,011	543,977
RC4.1	6	11	0,010	9,613
RC4.2	8	13	0,010	191,974

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Riesgo	Grado entrada	Grado salida	Cercanía	Intermediación
RC4.3	8	3	0,007	0,236
RC4.4	8	16	0,011	50,447
RC4.5	4	15	0,010	54,224
RC5.1	9	13	0,009	451,938
RC5.2	12	12	0,008	249,095
RC5.3	13	9	0,008	133,505
RC5.4	6	8	0,008	21,983
RC6.1	2	8	0,009	137,273
RC6.2	2	13	0,010	39,283
RC6.3	2	4	0,007	1,139
RC6.4	1	7	0,008	0,200
RC7.1	5	11	0,007	96,636
RC7.2	14	13	0,008	240,974
RC7.3	7	3	0,004	33,270
RC7.4	6	6	0,004	64,715
RC8.1	1	0	0,000	0,000
RC8.2	2	0	0,000	0,000
RC8.3	1	1	0,004	0,000
RC9.1	2	6	0,006	36,233
RC9.2	1	5	0,006	8,100

SIGUE EN LA PRÓXIMA PÁGINA >>

<< VIENE DE LA PÁGINA ANTERIOR

Riesgo	Grado entrada	Grado salida	Cercanía	Intermediación
RC9.3	2	7	0,006	2,167
RC10.1	5	7	0,007	28,967
RC10.2	1	6	0,007	10,260
RC10.3	4	3	0,006	14,048
RC10.4	3	2	0,006	14,048
RC11.1	4	7	0,007	53,773
RC11.2	6	3	0,006	9,495
RC11.3	4	3	0,006	3,950
RC11.4	12	5	0,006	44,166
RC12.1	5	3	0,005	70,976
RC12.2	1	1	0,005	0,000
RC12.3	14	3	0,005	53,042
RC13.1	22	1	0,005	2,735
RC13.2	19	1	0,005	23,807
RC13.3	8	2	0,006	0,435
RC13.4	13	1	0,006	1,650
RC14.1	29	7	0,007	446,687
RC14.2	20	9	0,007	266,131
RC14.3	10	11	0,008	77,508

A continuación, se analizarán los valores obtenidos en cada una de estas métricas de uno en uno en los siguientes subapartados donde se recogen los siete riesgos con valores más altos a modo representativo. Para más información, puede consultarse la Tabla 3.

3.1. Grado de salida

El grado de salida representa la cantidad de conexiones que parten desde un nodo hacia otros dentro del grafo, lo que en este estudio se interpreta como la capacidad de un riesgo para influir en otros. Un alto grado de salida indica que un riesgo tiene un papel activo en la propagación de efectos dentro del sistema, actuando como un nodo emisor de impactos. En el contexto del cambio climático, estos riesgos pueden ser considerados como catalizadores de dinámicas complejas, ya que su activación puede desencadenar múltiples consecuencias en cadena. Identificar estos nodos permite priorizar acciones preventivas y de mitigación, ya que intervenir sobre ellos puede reducir significativamente la propagación de impactos sistémicos. En los resultados obtenidos, se destacan varios riesgos con grados de salida elevados, lo que sugiere su centralidad como motores de cambio dentro del sistema analizado. Esta información es clave para diseñar estrategias de gestión del riesgo más eficaces y proactivas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el grado de salida (Figura 2) donde los riesgos con mayor grado de salida tienen un mayor tamaño y tienen un color más claro. Se observa que la distribución está sesgada a la derecha, con unos pocos riesgos con valores superiores al resto (Figura 3).

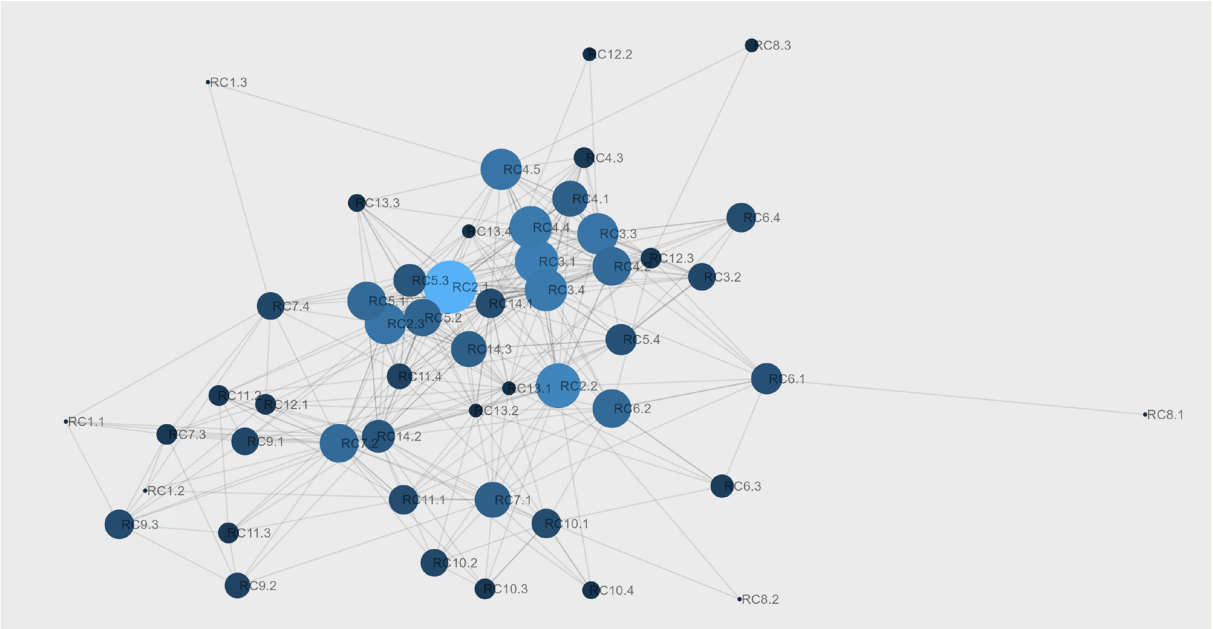


Figura 2. Grado de salida.

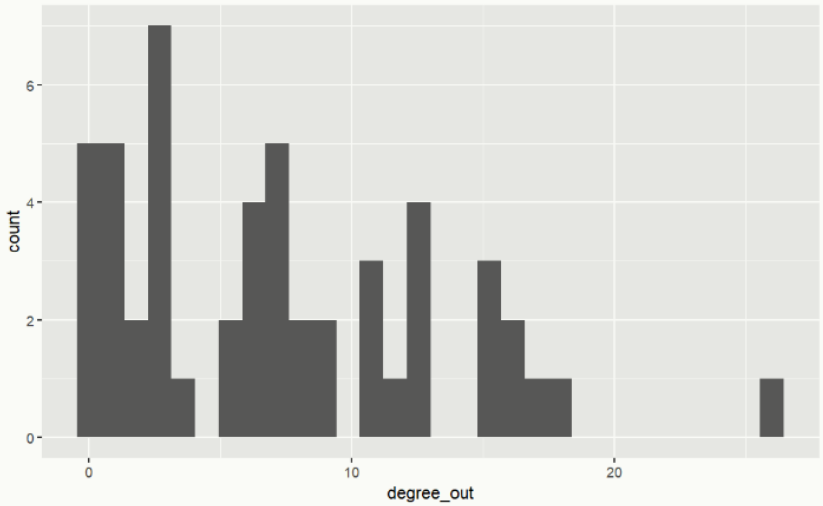


Figura 3. Grado de salida (histograma).

Los riesgos con mayor grado de salida son, en orden descendente:

- RC2.1 - Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
- RC2.2 - Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival.
- RC3.1 - Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.
- RC3.4 - Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RC4.4 - Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.
- RC4.5 - Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.
- RC3.3 - Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes.

- RC2.3 - Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes.

3.2. Grado de entrada

El grado de entrada mide cuántas conexiones llegan a un nodo desde otros, lo que refleja su nivel de dependencia frente a otros riesgos. En el análisis realizado, los nodos con un alto grado de entrada son aquellos que reciben influencia de múltiples riesgos, lo que los convierte en puntos críticos de acumulación de impactos. Estos riesgos no necesariamente generan efectos en otros, pero sí son altamente susceptibles a las dinámicas del sistema. Este tipo de análisis permite identificar los riesgos más expuestos dentro de la red, lo cual es fundamental para diseñar estrategias de adaptación y resiliencia. En los resultados obtenidos se observa que ciertos riesgos actúan como receptores de múltiples influencias, lo que los convierte en indicadores sensibles del estado general del sistema. Comprender esta dimensión permite anticipar posibles puntos de colapso o acumulación de tensiones, y orientar recursos hacia la protección de los elementos más vulnerables del sistema climático y socioeconómico.

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos para el grado de entrada donde los riesgos con una métrica mayor tienen un mayor tamaño y un color más claro. Se observa que la distribución está sesgada a la derecha, con unos pocos riesgos que destacan sobre los demás (Figura 5).

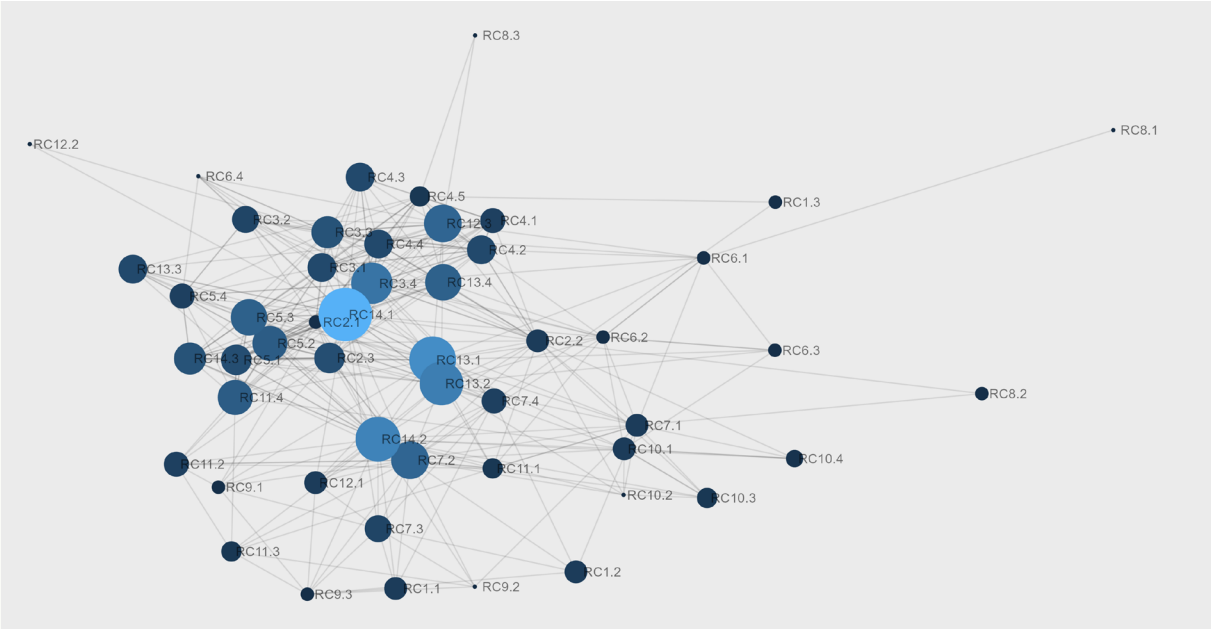


Figura 4. Grado de entrada.

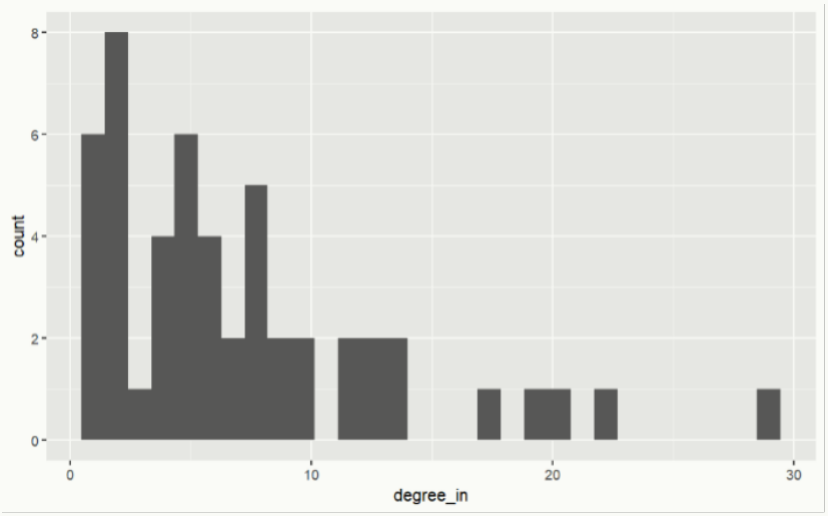


Figura 5. Grado de entrada (histograma).

A continuación, se listan en orden descendente los riesgos con grado de entrada mayor:

- RC14.1 - Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.
- RC13.1 - Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.
- RC14.2 - Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados de amenazas climáticas.
- RC13.2 - Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por eventos climáticos extremos.
- RC3.4 - Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RC7.2 - Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).
- RC12.3 - Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales.

3.3. Cercanía

La métrica de cercanía evalúa la proximidad de un nodo respecto al resto de los nodos del grafo, considerando la longitud de los caminos más cortos. En términos prácticos, un nodo con alta cercanía puede alcanzar rápidamente a otros nodos, lo que implica una posición estratégica dentro de la red para la difusión de impactos o información. En el contexto del cambio climático, los riesgos con alta cercanía son aquellos que, aunque no tengan muchos vínculos directos, están bien posicionados para influir o ser influenciados de forma eficiente. Esto los convierte en elementos clave para la propagación rápida de efectos sistémicos. En los resultados del análisis, se identifican varios nodos con alta centralidad de cercanía, lo que sugiere su papel como intermediarios eficaces dentro del sistema. Esta información es útil para diseñar intervenciones que busquen interrumpir la propagación de impactos o mejorar la comunicación y coordinación entre sectores afectados por el cambio climático.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la métrica de cercanía (**Figura 6**) donde los riesgos con mayor cercanía tienen un mayor tamaño y tienen un color más claro. En este caso se observa que la distribución es más similar a una normal, no existiendo unos pocos riesgos dominando la distribución (**Figura 7**).

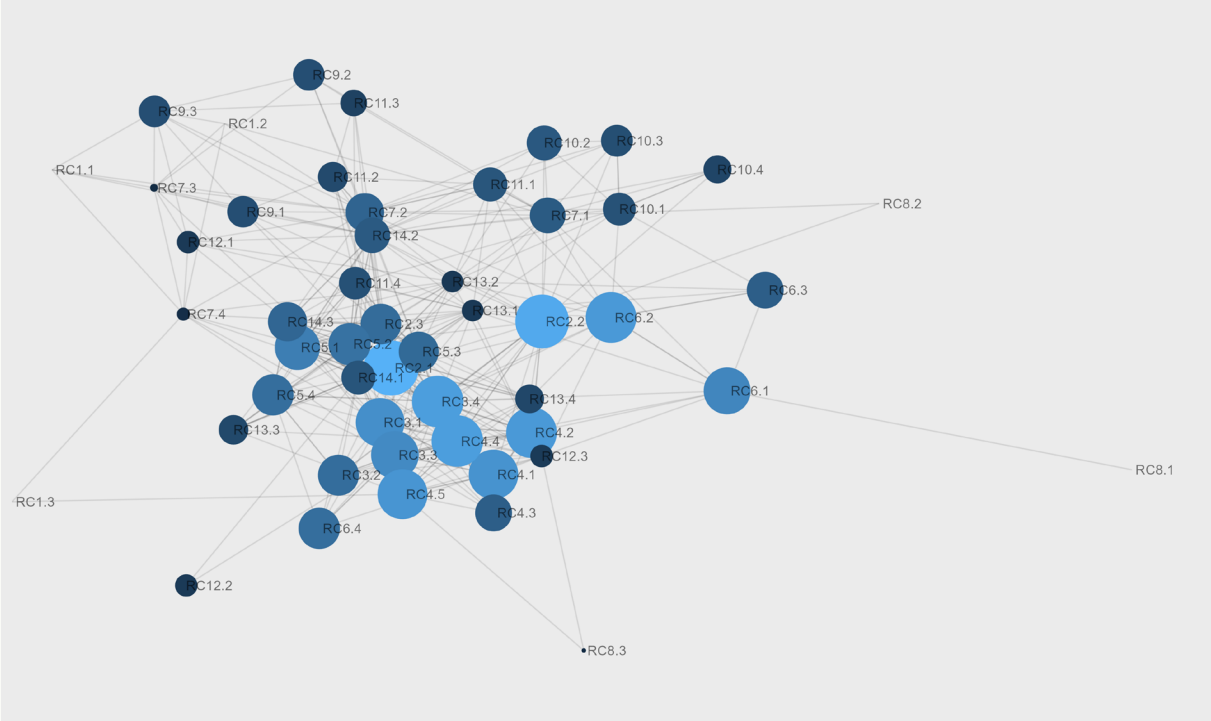


Figura 6. Cercanía.

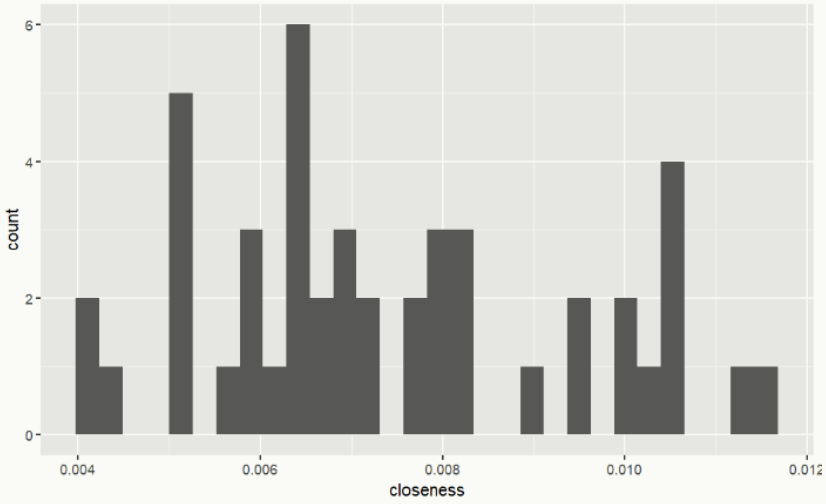


Figura 7. Cercanía (histograma).

Los riesgos con una cercanía mayor son:

- RC2.1 - Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
- RC2.2 - Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival.
- RC3.4 - Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RC4.4 - Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.
- RC4.2 - Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo por cambios de temperatura y, particularmente, la lluvia sobre todo extrema.
- RC6.2 - Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleaje extremos.
- RC4.5 - Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.

- RC3.3 - Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.

- RC4.1 – Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima.

3.4. Intermediación

La centralidad de intermediación mide la frecuencia con la que un nodo aparece en los caminos más cortos entre otros pares de nodos. Esta métrica identifica los nodos que actúan como puentes o cuellos de botella dentro del sistema, facilitando o bloqueando la transmisión de efectos entre diferentes partes de la red. En el análisis de riesgos complejos asociados al cambio climático, los nodos con alta intermediación son especialmente relevantes, ya que su posición les otorga un papel de control sobre la conectividad del sistema. En los resultados obtenidos se destacan ciertos riesgos con valores elevados de intermediación, lo que indica su papel estructural en la red. Estos nodos pueden ser puntos estratégicos para intervenciones que busquen modular la dinámica del sistema, ya sea para frenar la propagación de impactos o para facilitar respuestas coordinadas. Comprender la intermediación permite identificar riesgos que, aunque no sean los más influyentes o vulnerables por sí mismos, desempeñan un papel clave en la arquitectura del riesgo sistémico.

En la Figura 8 se muestran los resultados obtenidos para métrica de intermediación donde los riesgos con valores mayores tienen un mayor tamaño y un color más claro. Al igual que en el grado de entrada y el grado de salida, se observa que la distribución está fuertemente sesgada a la derecha, con unos pocos riesgos que destacan sobre los demás (Figura 9).

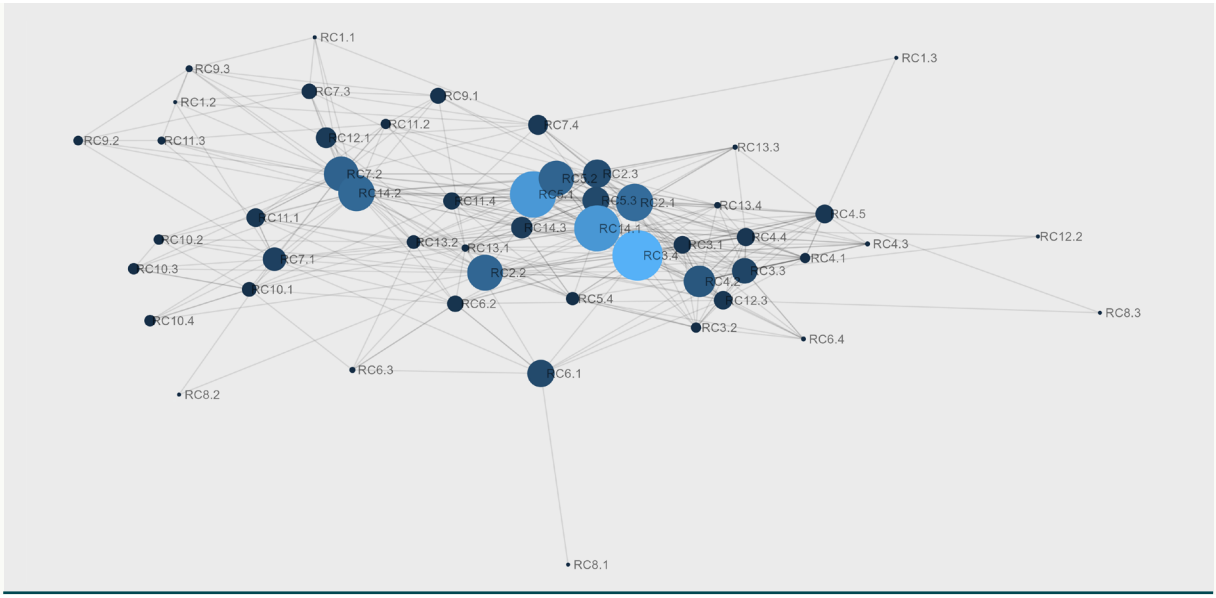


Figura 8. Intermediación.

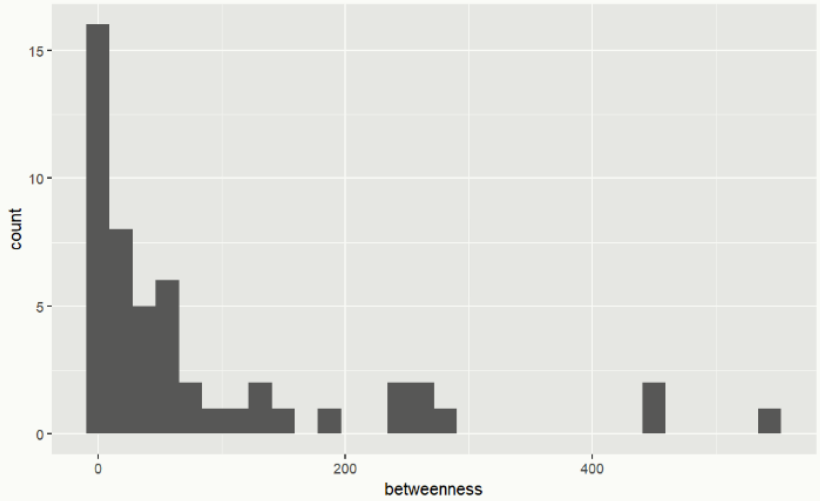


Figura 9. Intermediación (histograma).

Los riesgos con mayor intermediación son:

- RC3.4 - Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.
- RC5.1 - Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.
- RC14.1 - Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.
- RC2.1 - Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.
- RC14.2 - Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados de amenazas climáticas.
- RC2.2 - Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival.
- RC5.2 - Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.
- RC7.2 - Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).

4. Mapeo de relaciones directas entre riesgos

En este apartado se muestra el análisis de riesgos complejos de forma particular para cada riesgo clave. De esta forma, puede abordarse cada riesgo clave según sea de interés para conocer el detalle de con qué otros riesgos están relacionados de forma directa, ya sea mediante riesgos que pueden incrementar el riesgo en cuestión (entrada) o que pueden verse incrementados por el mismo (salida).

A continuación, se expone cada uno de los 51 riesgos clave indicando su grado de entrada, grado de salida y se mostrará una figura que recoge las relaciones directas entre riesgos. Los enlaces de entrada se representan en rojo y los de salida en azul. Se indican los códigos de los riesgos en la figura. Para conocer de cuáles se trata se recomienda consultar la **Tabla 1** donde se recoge el nombre completo de cada riesgo. El tamaño de los nodos representa la intermediación de cada riesgo.

4.1. Salud humana

El *Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables (personas ancianas, infancia, o con enfermedades previas)* tiene un grado de entrada 5 y grado de salida 0 (**Figura 10**).

El *Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas*[5] (**Figura 11**) tiene un grado de entrada 5 y grado de salida 0.

El tercer riesgo del sector salud, *Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al incremento de la contaminación atmosférica*[6], tiene un grado de entrada 2 y de salida 0 (**Figura 12**).

[5] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC1.2 Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia del aumento de las temperaturas, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[6] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC1.3 Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

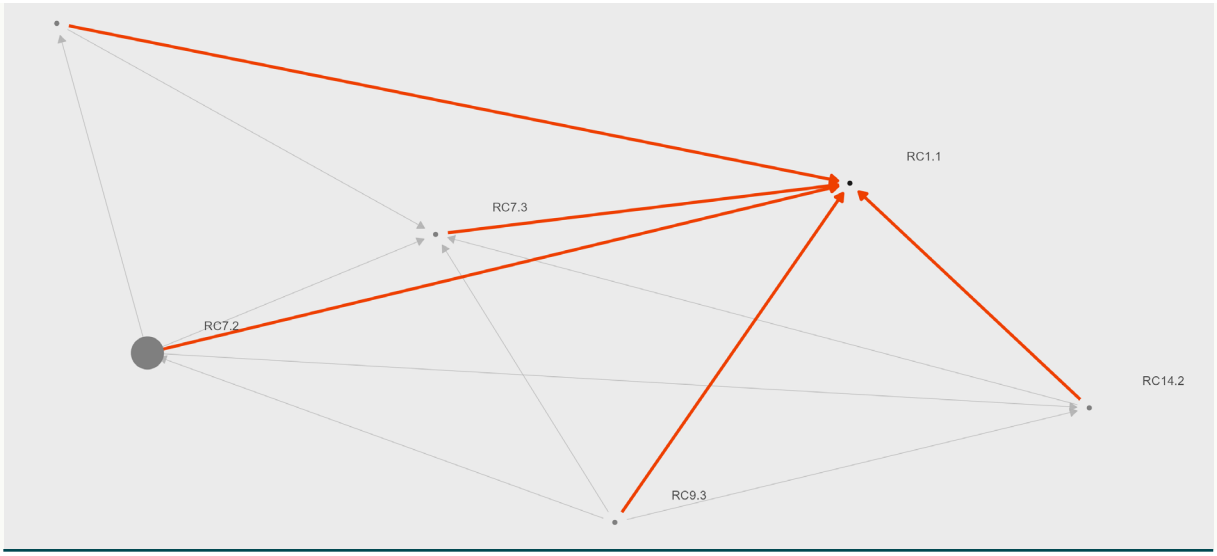


Figura 10. RC1.1.

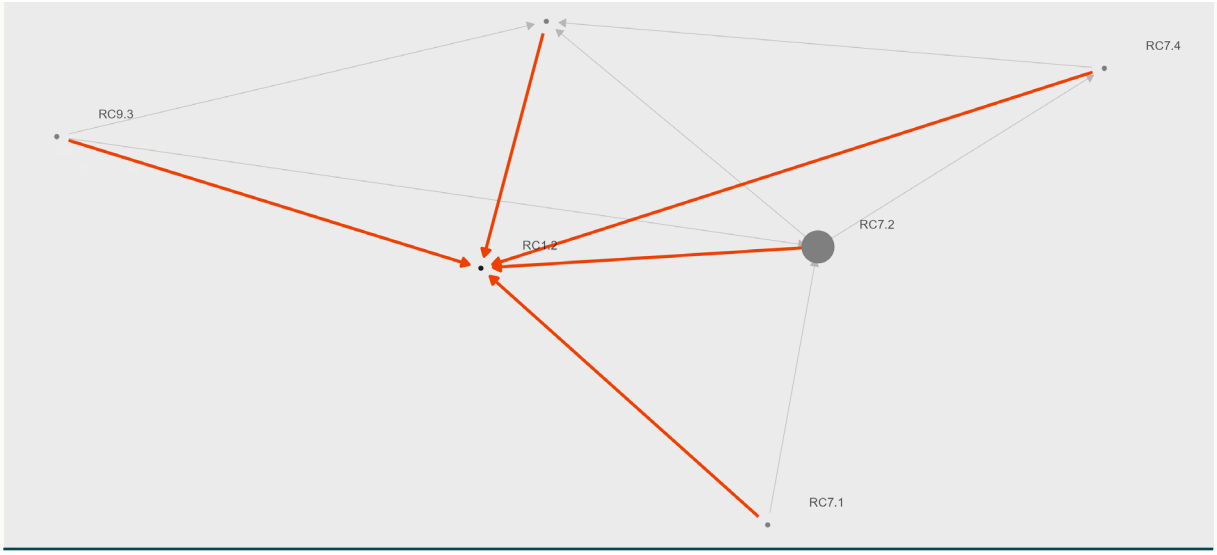


Figura 11. RC1.2.

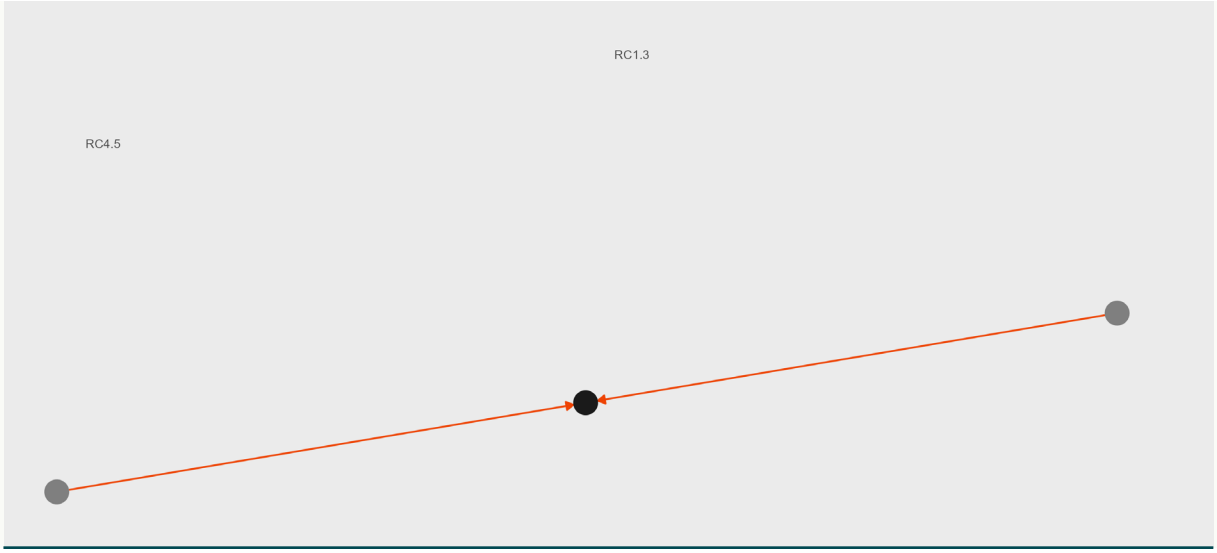


Figura 12. RC1.3.

4.2. Agua y recursos hídricos

El *Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración* (**Figura 13**) tiene un grado de entrada de 2 y un grado de salida 26.

Por otra parte, el *Riesgo de daños por inundaciones por los cambios en los patrones de distribución de las precipitaciones y de fusión nival*[7] tiene un grado de entrada de 5 y de salida 18 (**Figura 14**).

El *Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes*[8] (**Figura 15**) tiene un grado de entrada 9 y de salida 15.

[7] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC2.2 Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[8] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC2.3 Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

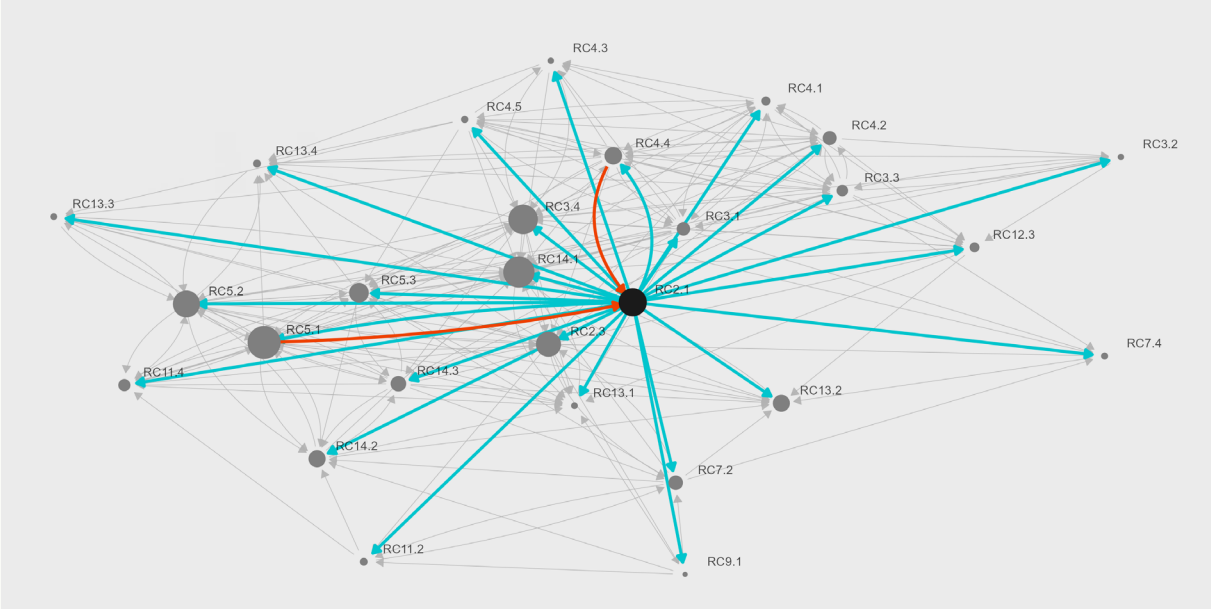


Figura 13. RC2.1.

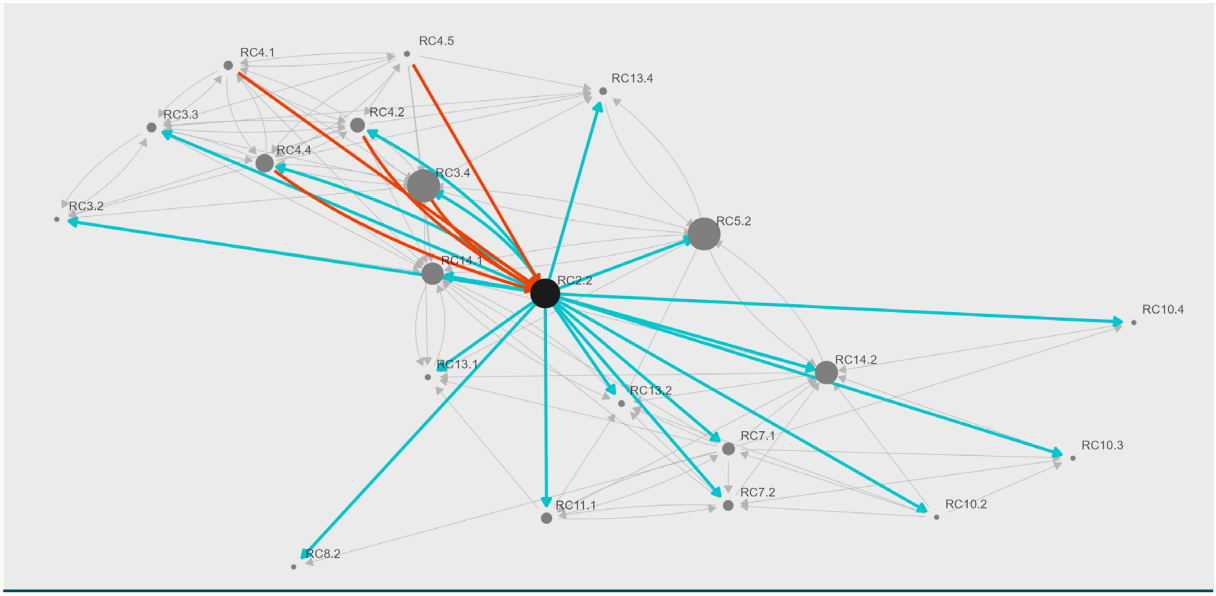


Figura 14. RC2.2.

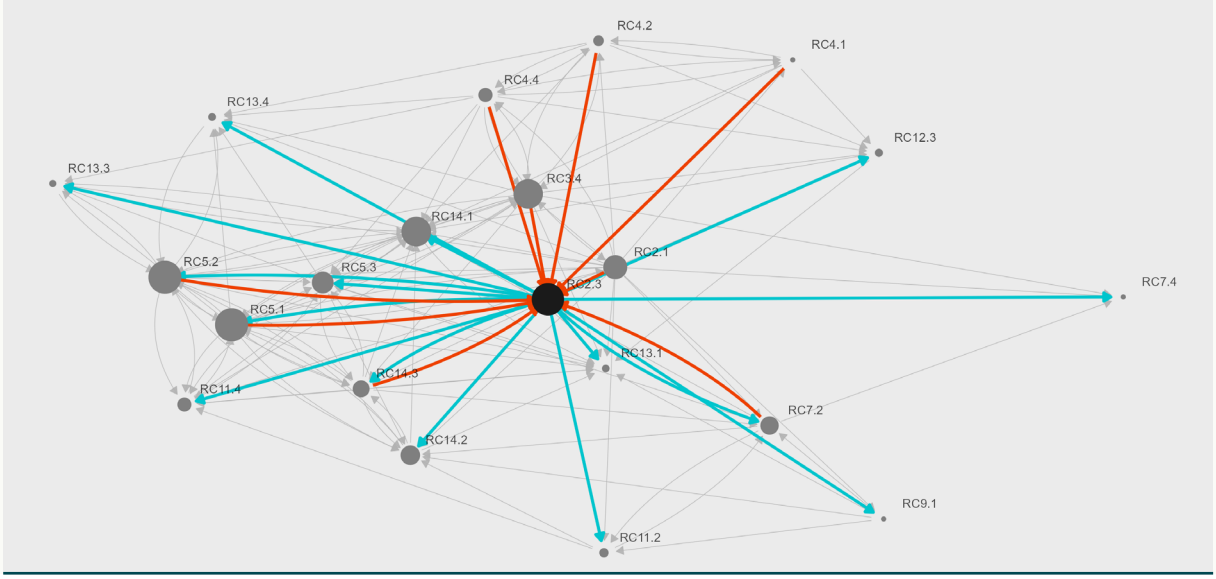


Figura 15. RC2.3.

4.3. Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas

El *Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles* (Figura 16) tiene un grado de entrada de 8 y grado de salida 17.

Por otra parte, el *Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.)* tiene un grado de entrada de 7 y de salida de 6 (Figura 17).

Mientras que el *Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas* (Figura 18) tiene un grado de entrada de 10 y de salida de 15.

El último riesgo de patrimonio natural, *Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas*, tiene un grado de entrada de 17 y un grado de salida de 16 (Figura 19).

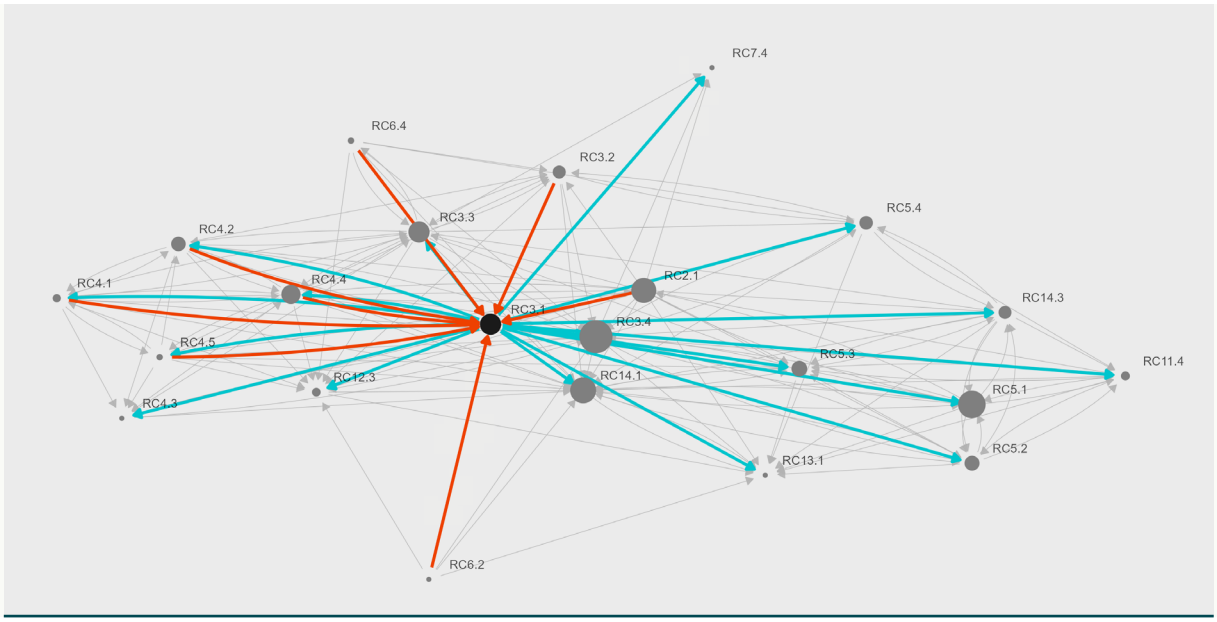


Figura 16. RC3.1.

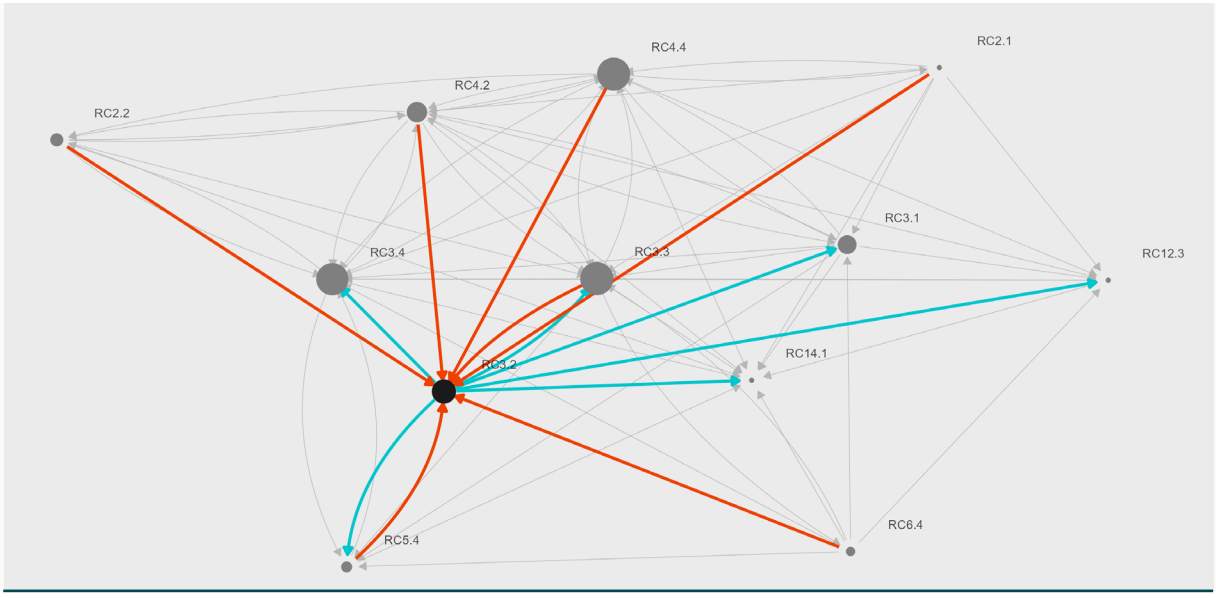


Figura 17. RC3.2.

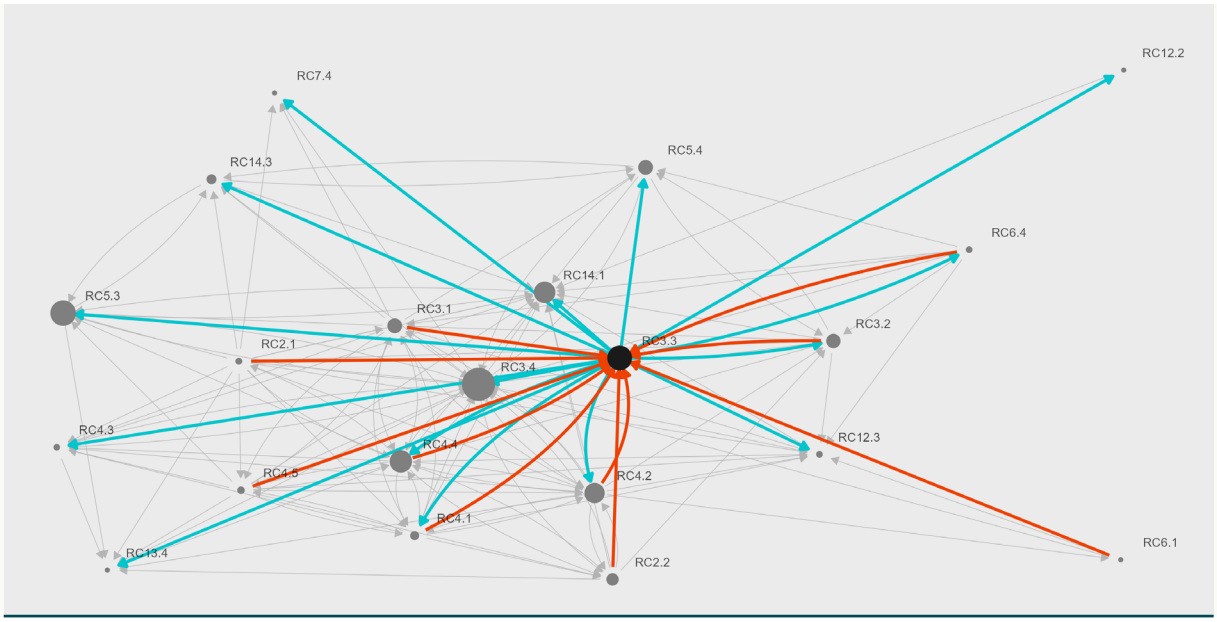


Figura 18. RC3.3.

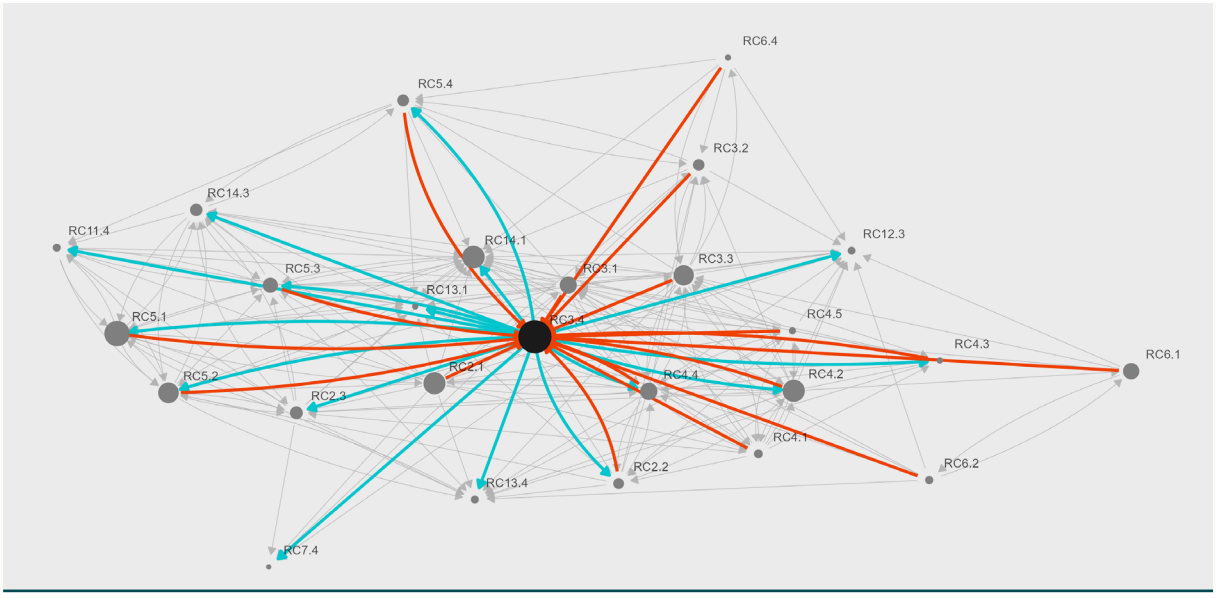


Figura 19. RC3.4.

4.4. Sector forestal, desertificación, caza y pesca continental

El *Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima* tiene un grado de entrada de 6 y un grado de salida de 11 (**Figura 20**).

A continuación, el *Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo por cambios de temperatura y, particularmente, la lluvia sobre todo extrema*[9] (**Figura 21**) tiene grado de entrada 8 y de salida 13.

El *Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios en las variables climáticas*[10] (**Figura 22**) tiene un grado de entrada de 8 y de salida 3.

El *Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales*[11] (**Figura 23**) tiene un grado de entrada de 8 y de salida 16.

Por otra parte, el *Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático* (**Figura 24**) tiene un grado de entrada de 4 y de salida de 15.

[9] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC4.2 Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[10] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC4.3 Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[11] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC4.4 Riesgo de aumento de la desertificación/degradación de la tierra debido a la mayor aridez y a la degradación y erosión del suelo (entre otros) como consecuencia del aumento de las temperaturas, de la disminución de las precipitaciones, del aumento de la frecuencia e intensidad de sequías, de la torrencialidad de las lluvias y del peligro meteorológico de incendios forestales, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

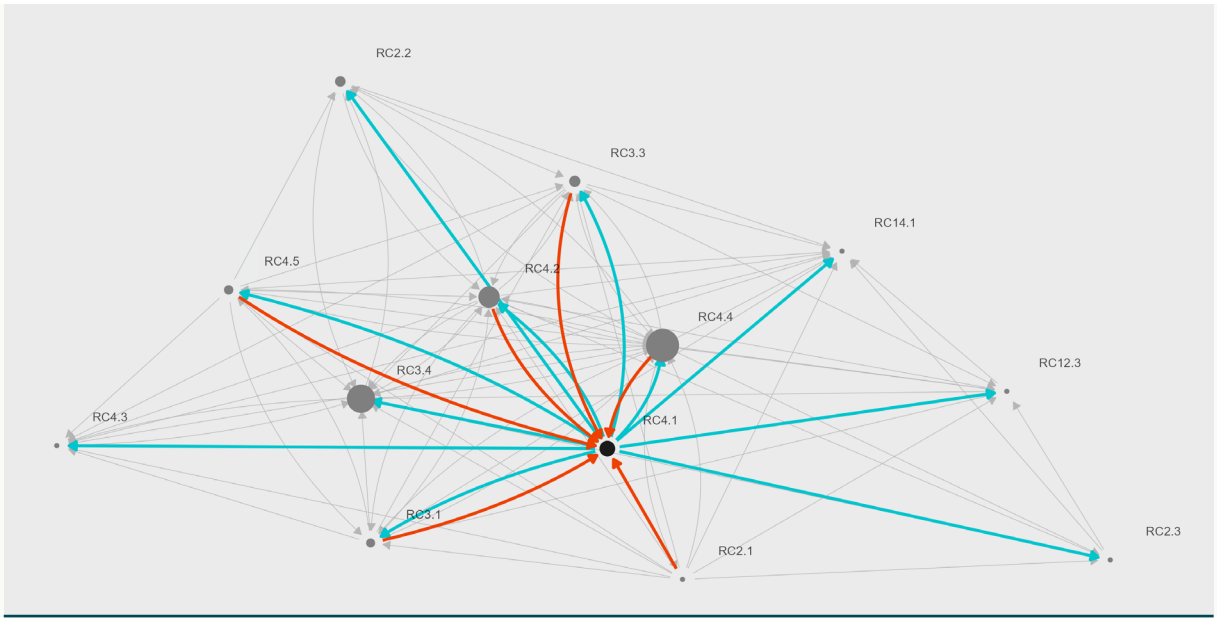


Figura 20. RC4.1.

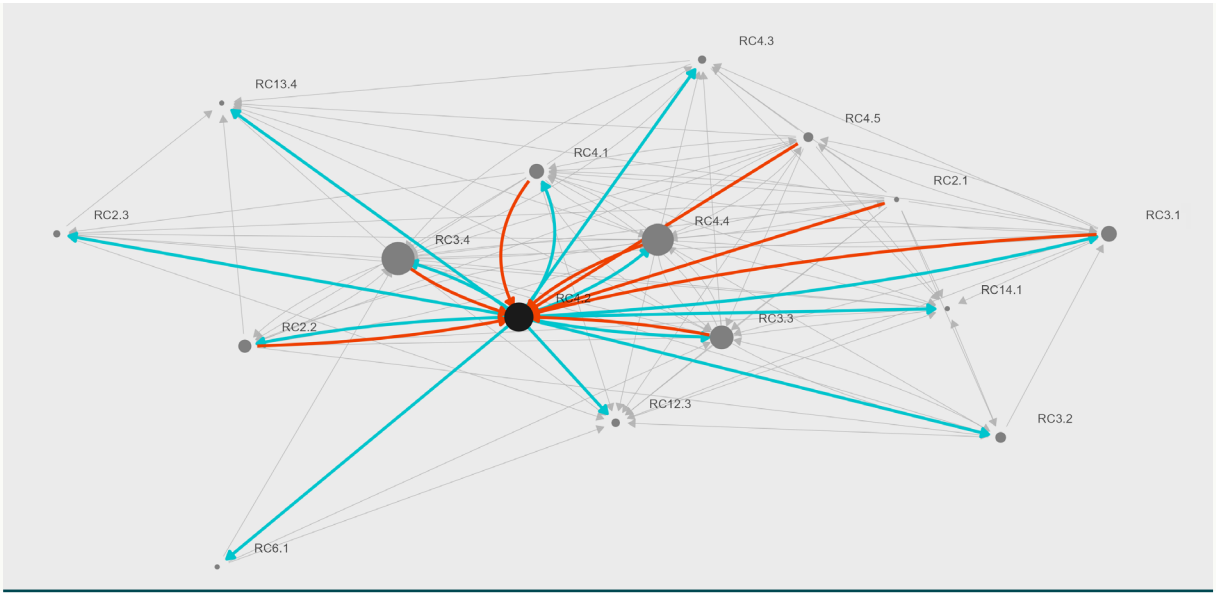


Figura 21. RC4.2.

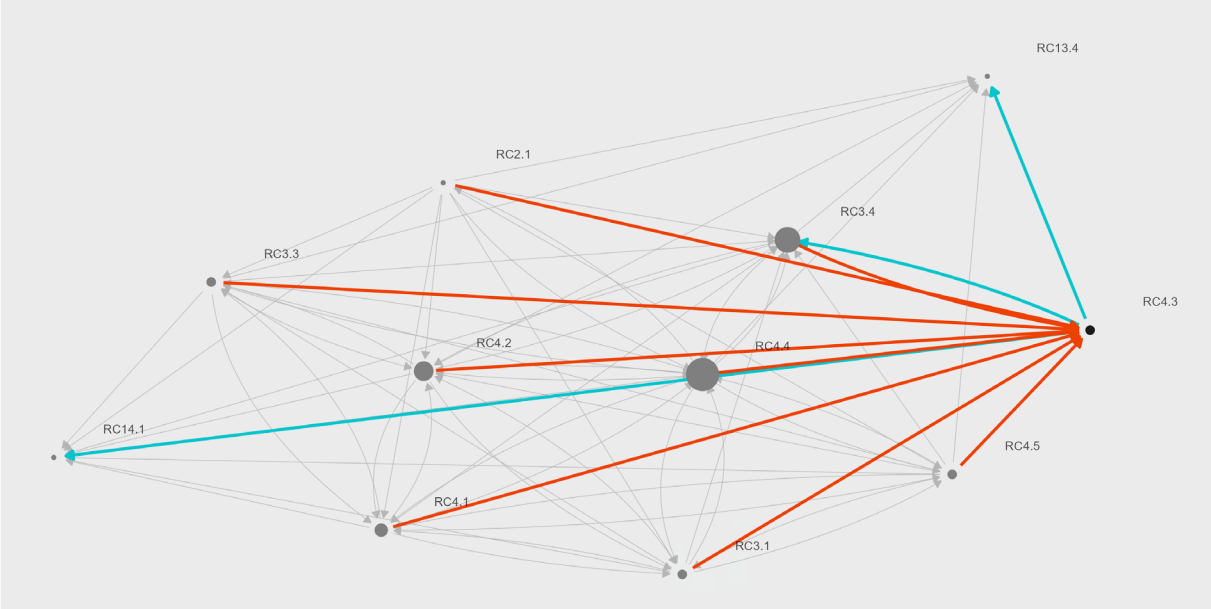


Figura 22. RC4.3.

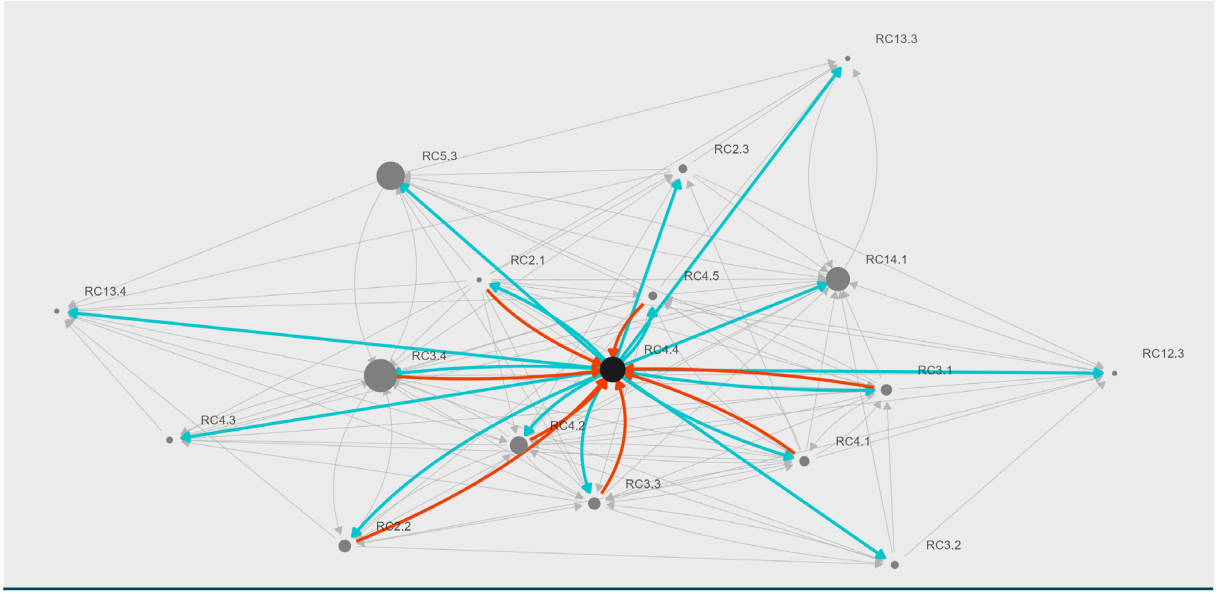


Figura 23. RC4.4.

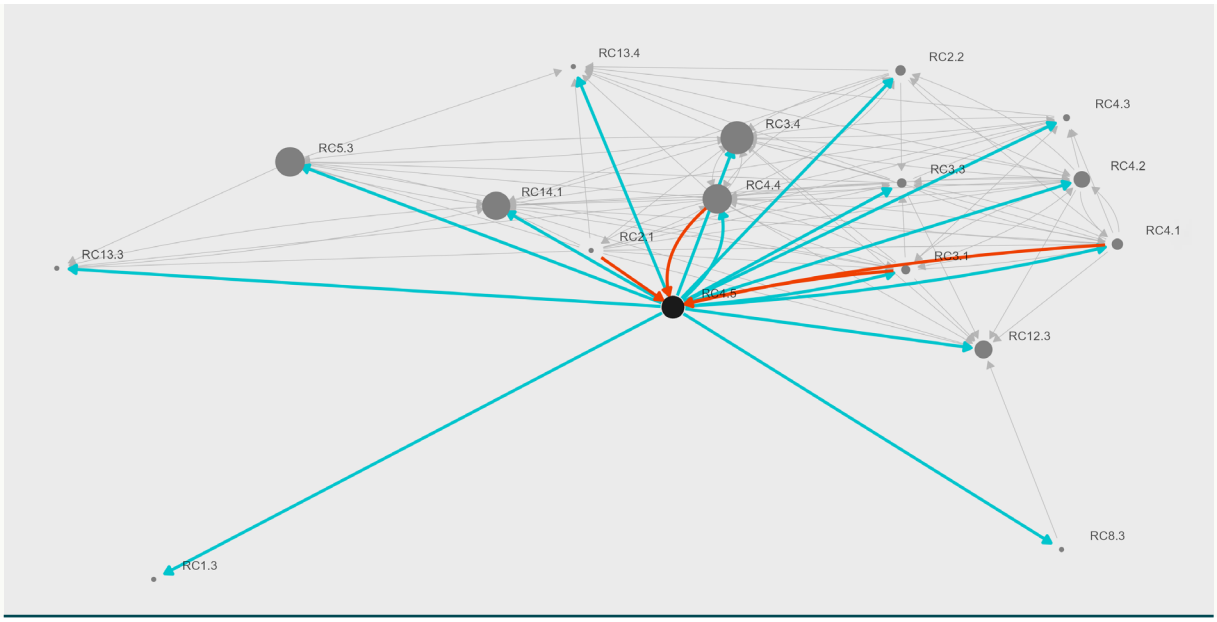


Figura 24. RC4.5.

4.5. Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación

El *Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua* (Figura 25) tiene grado de entrada 9 y grado de salida 13.

El *Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos* (Figura 26) tiene grado de entrada 12 y grado de salida 12.

El *Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones* (Figura 27) tiene grado de entrada 13 y grado de salida 9.

El *Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o a los cambios en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas* (Figura 28) tiene grado de entrada 6 y grado de salida 8.

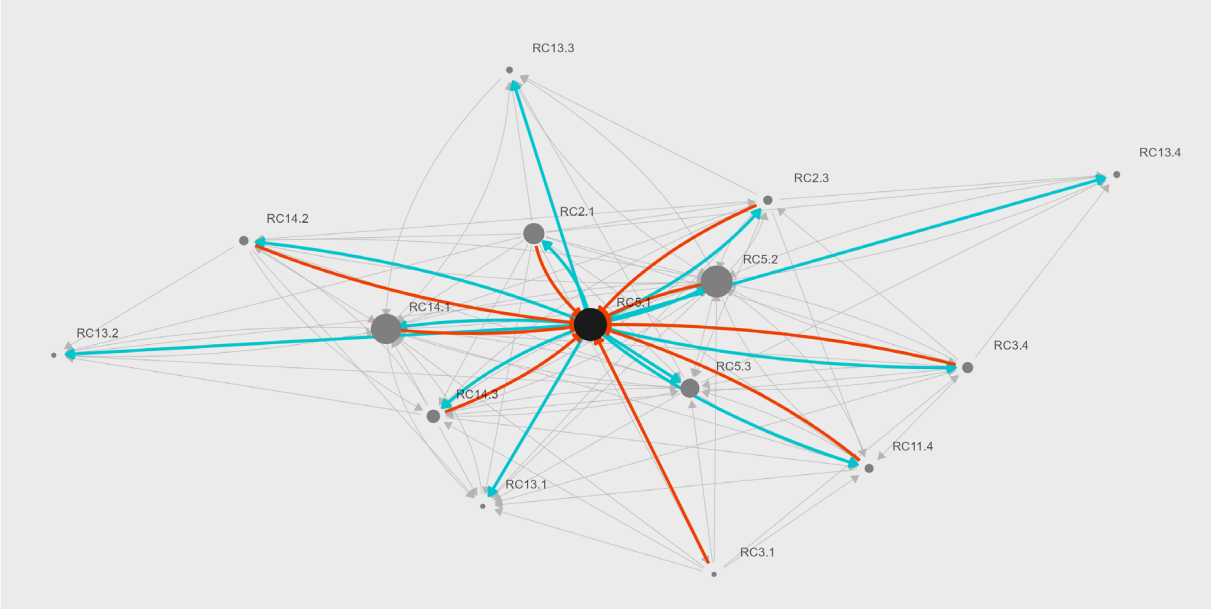


Figura 25. RC5.1.

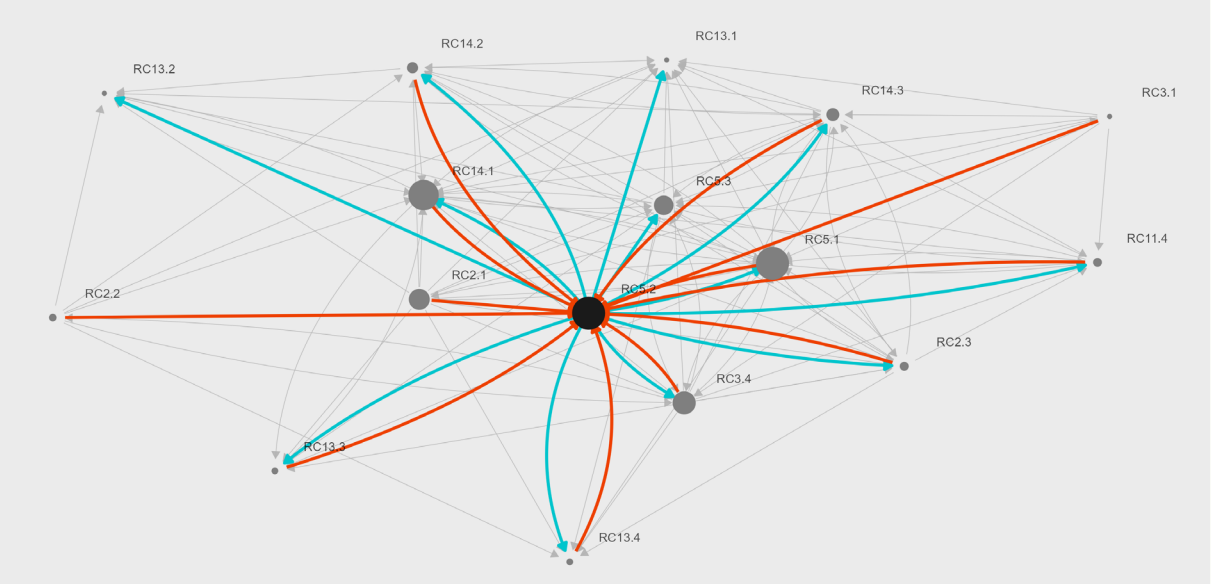


Figura 26. RC5.2.

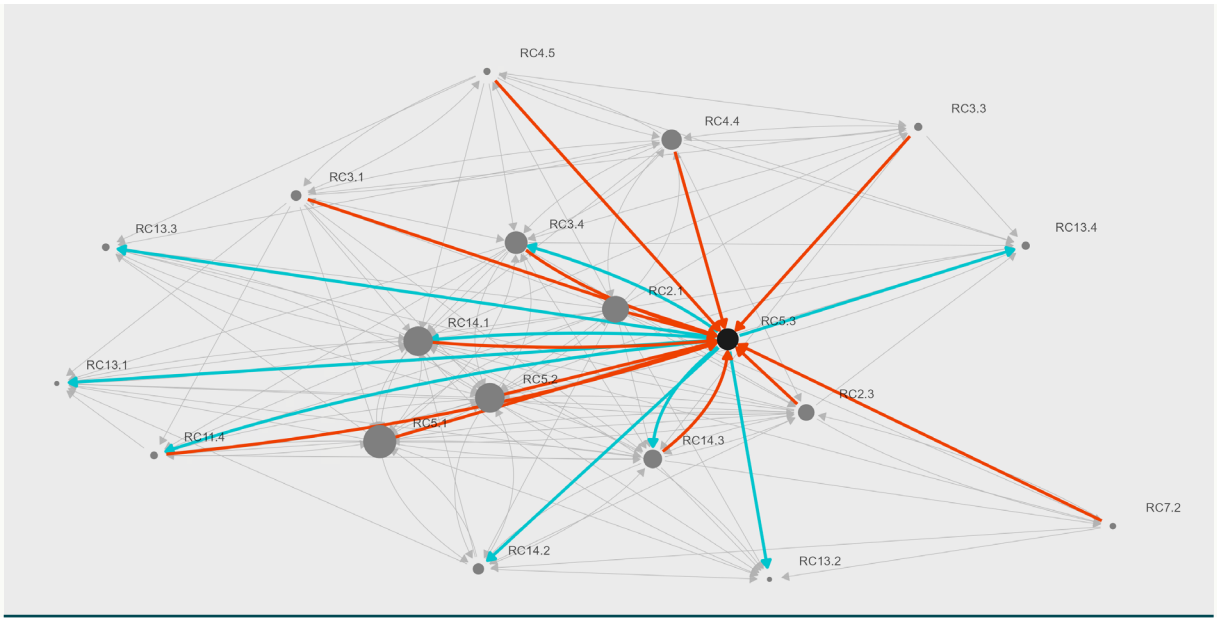


Figura 27. RC5.3.

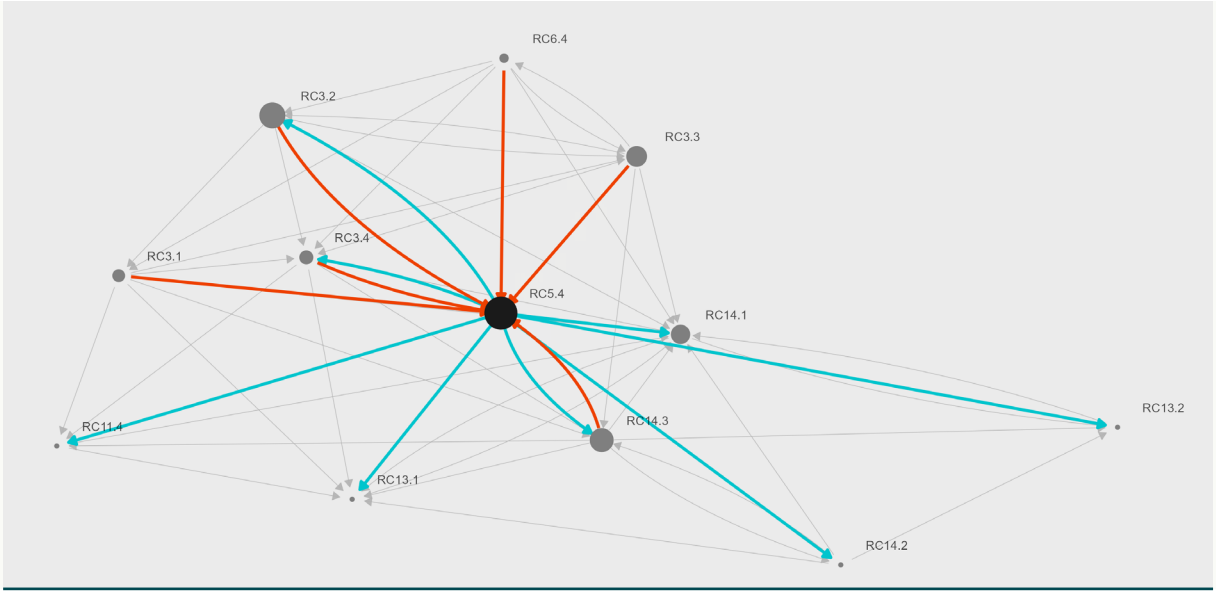


Figura 28. RC5.4.

4.6. Costas y medio marino

El *Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo*[12] (**Figura 29**) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 8.

El *Riesgo de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, viento y oleaje extremos*[13] (**Figura 30**) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 13.

El *Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección y portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia* de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos[14] (**Figura 31**) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 4.

El *Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial y la acidificación del mar*[15] (**Figura 32**) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 7.

[12] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC6.1 Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel del mar relativo, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[13] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC6.2 Riesgos de inundación o daños directos a personas, activos naturales y económicos por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[14] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC6.3 Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[15] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC6.4 Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

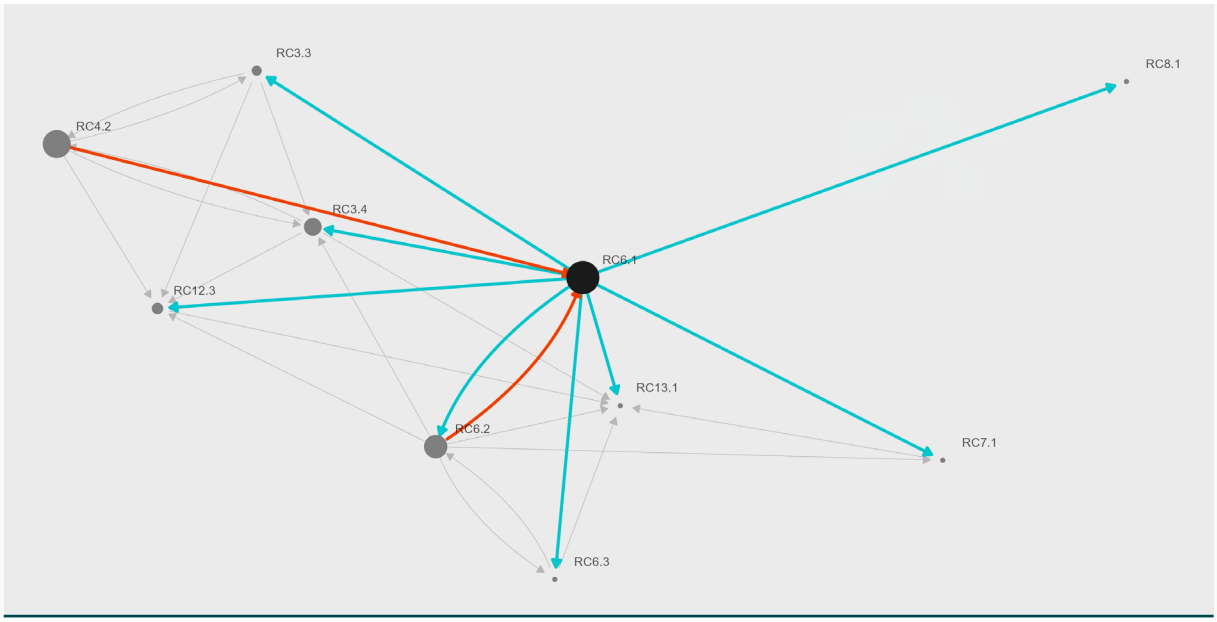


Figura 29. RC6.1.

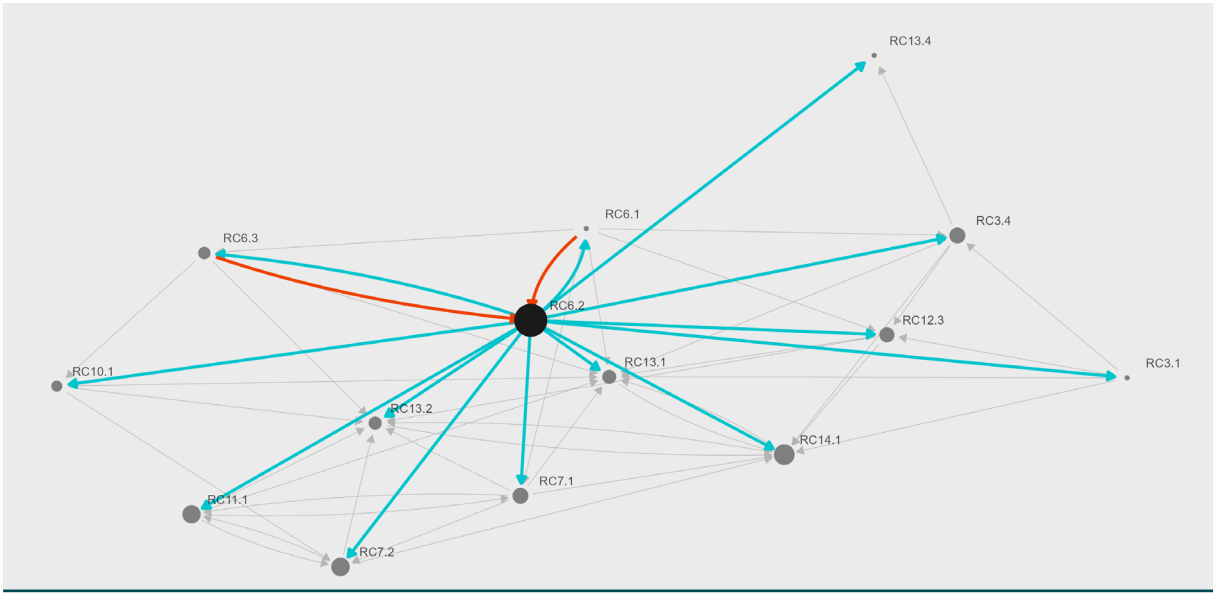


Figura 30. RC6.2.

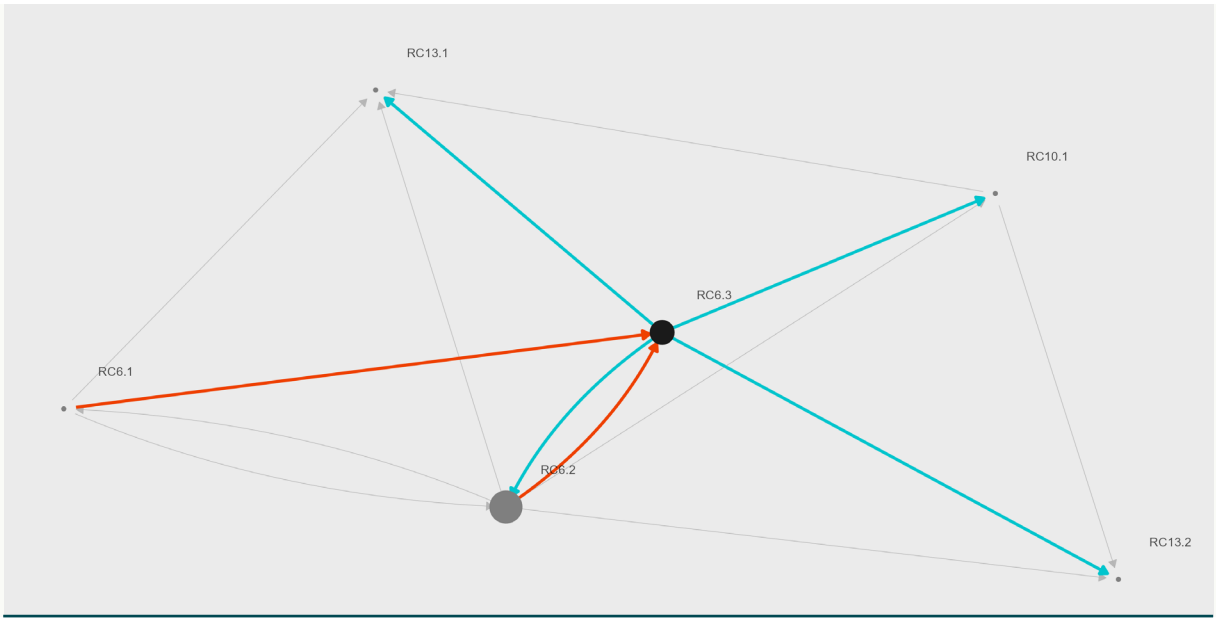


Figura 31. RC6.3.

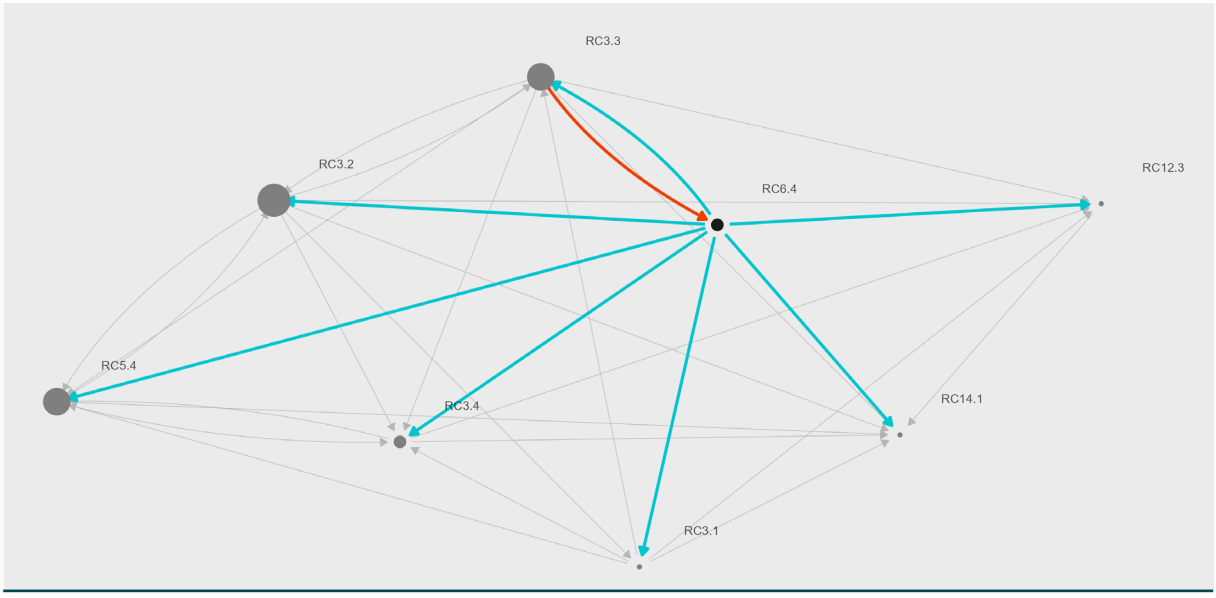


Figura 32. RC6.4.

4.7. Ciudad, urbanismo y edificación

El *Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos* (**Figura 33**) tiene grado de entrada 5 y grado de salida 11.

El *Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas)* (**Figura 34**) tiene grado de entrada 14 y grado de salida 13.

El *Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas* (**Figura 35**) tiene grado de entrada 7 y grado de salida 3.

El *Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbano y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas*[16] (**Figura 36**) tiene grado de entrada 6 y grado de salida 6.

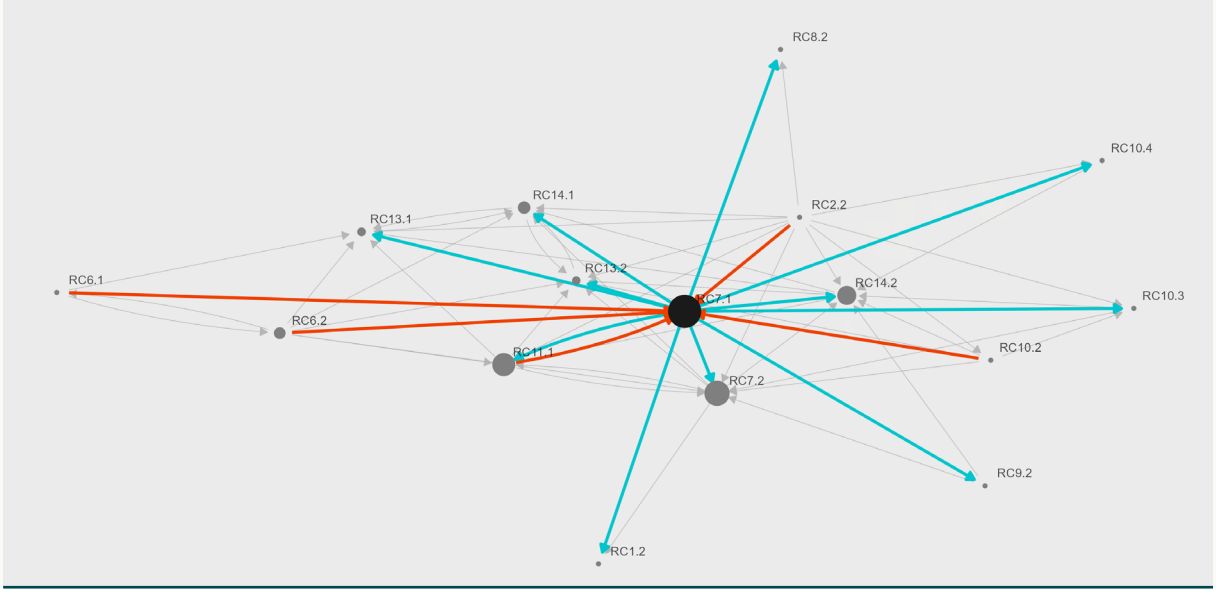


Figura 33. RC7.1.

[16] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC7.4 Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

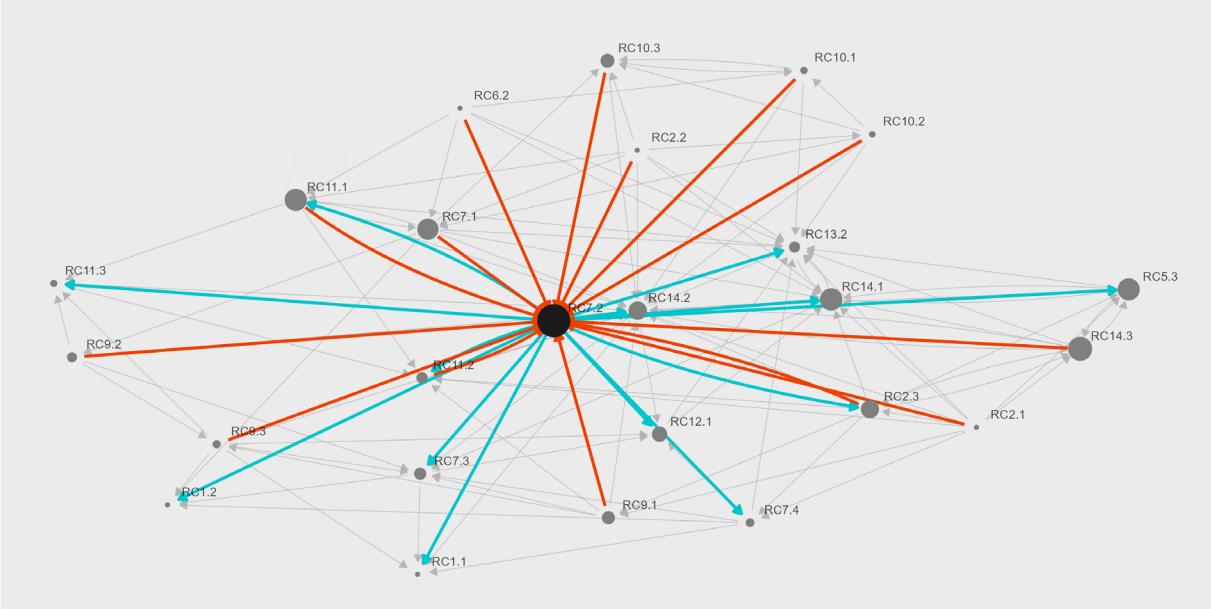


Figura 34. RC7.2.

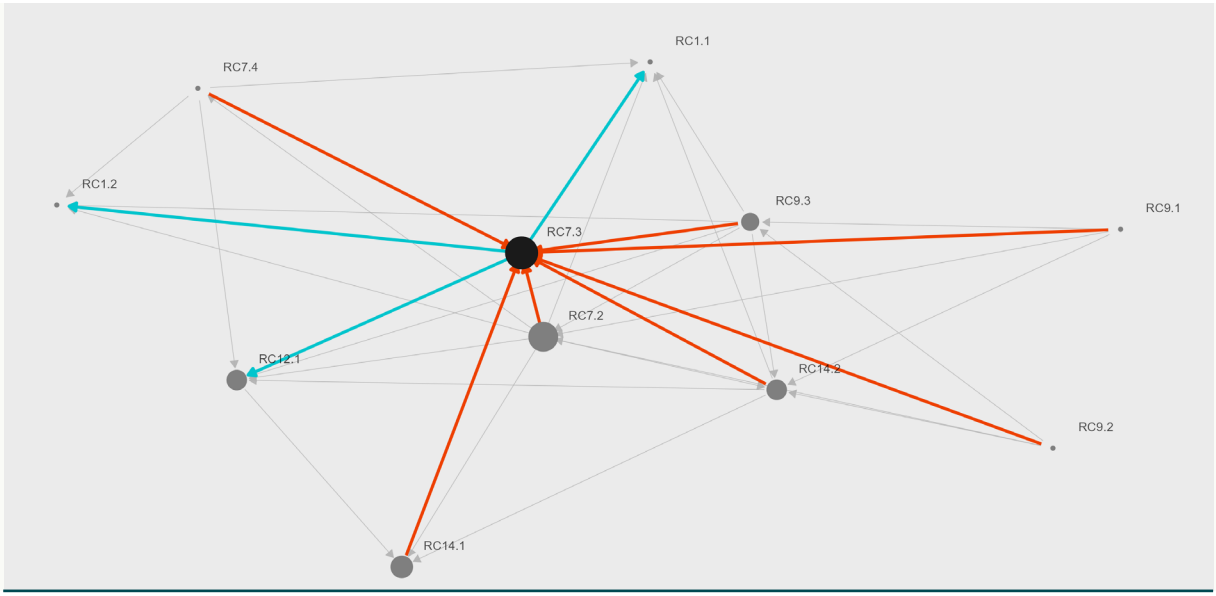


Figura 35. RC7.3.

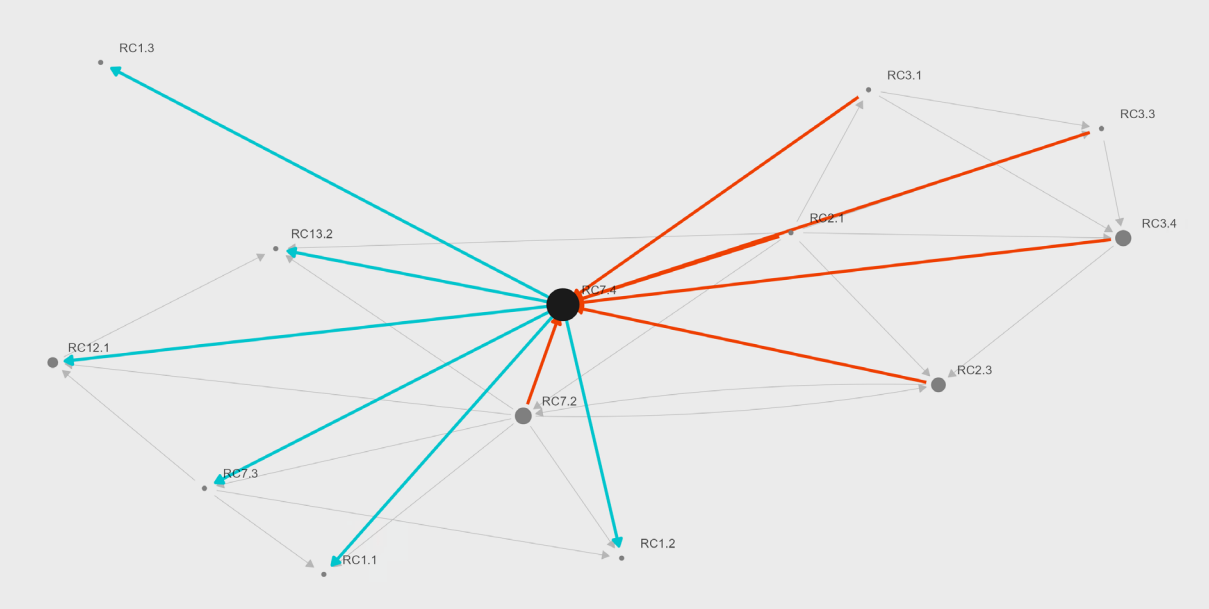


Figura 36. RC7.4.

4.8. Patrimonio cultural

El *Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del mar y erosión costera* (**Figura 37**) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 0.

El *Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales* (**Figura 38**) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 0.

El *Riesgo de daños en elementos del patrimonio etnográfico material y en los paisajes culturales debido al mayor riesgo de incendios asociado al cambio climático* (**Figura 39**) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 1.

Figura 37. RC8.1.

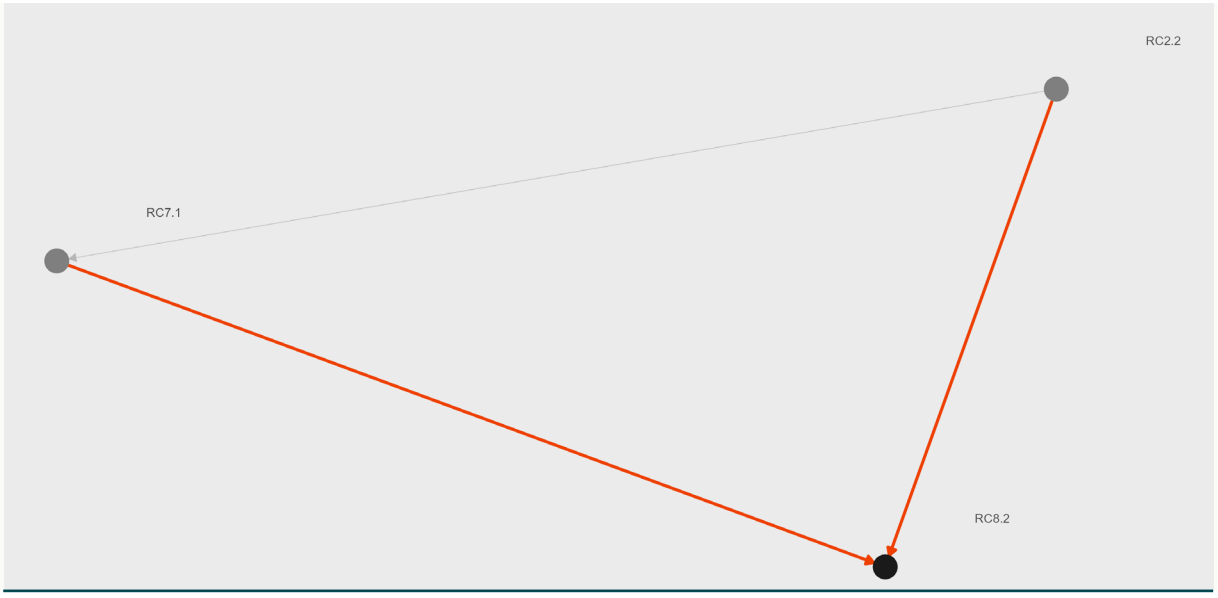


Figura 38. RC8.2.

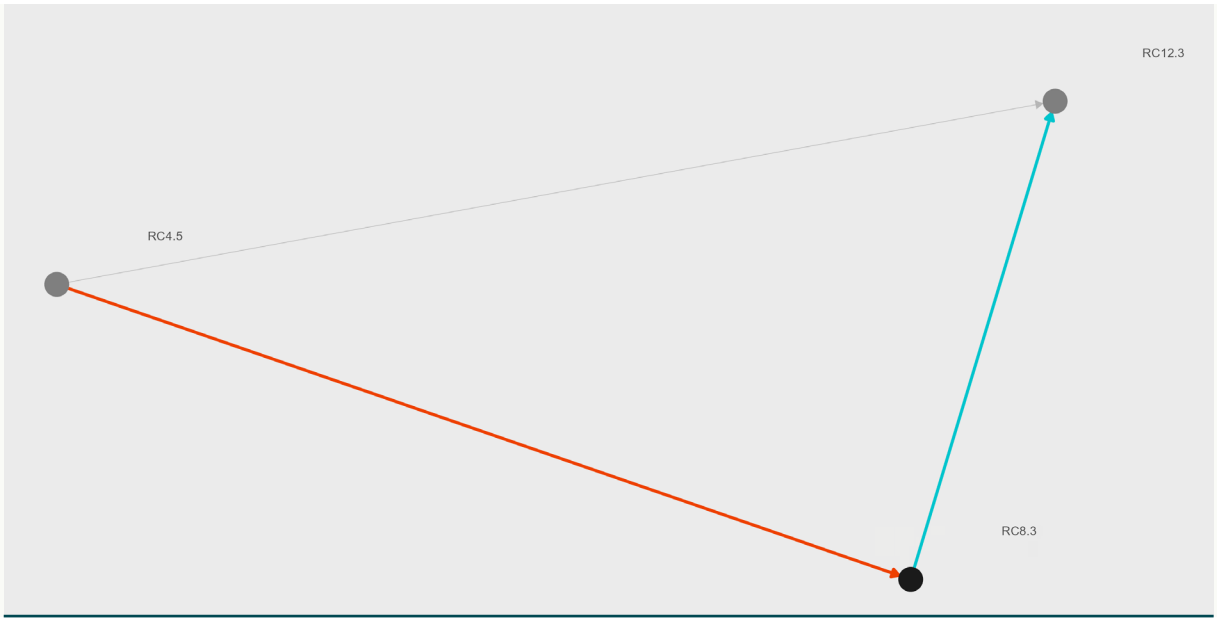


Figura 39. RC 8.3.

4.9. Energía

El *Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos* (**Figura 40**) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 6.

El *Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica* (**Figura 41**) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 5.

El *Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas* (**Figura 42**) tiene grado de entrada 2 y grado de salida 7.

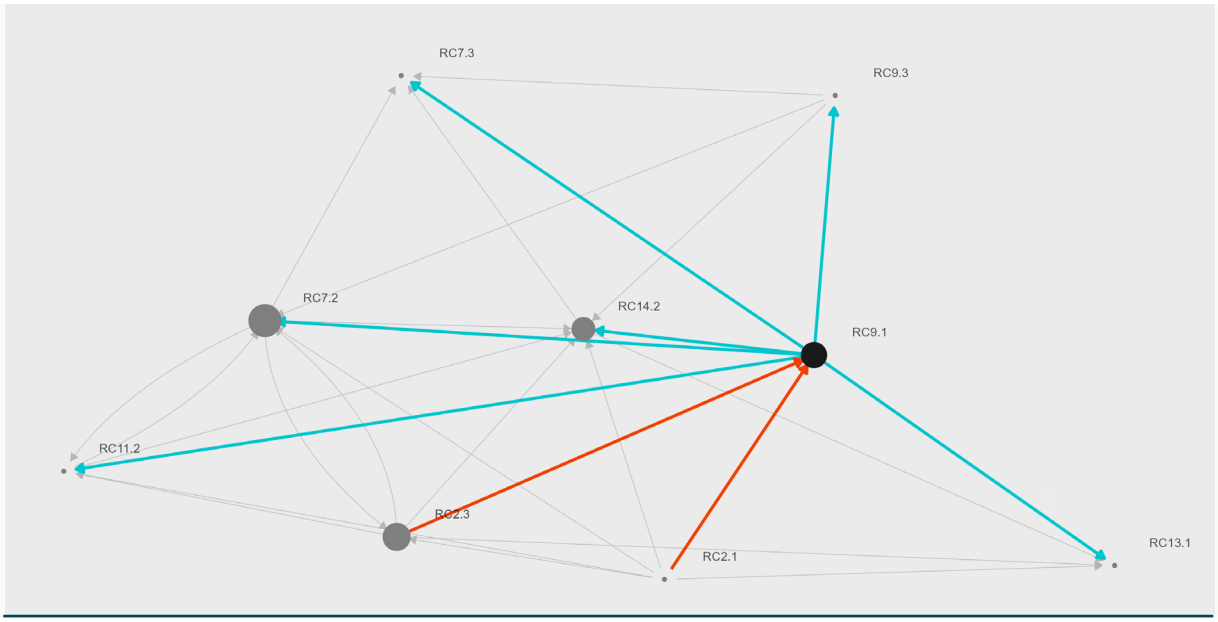


Figura 40. RC9.1.

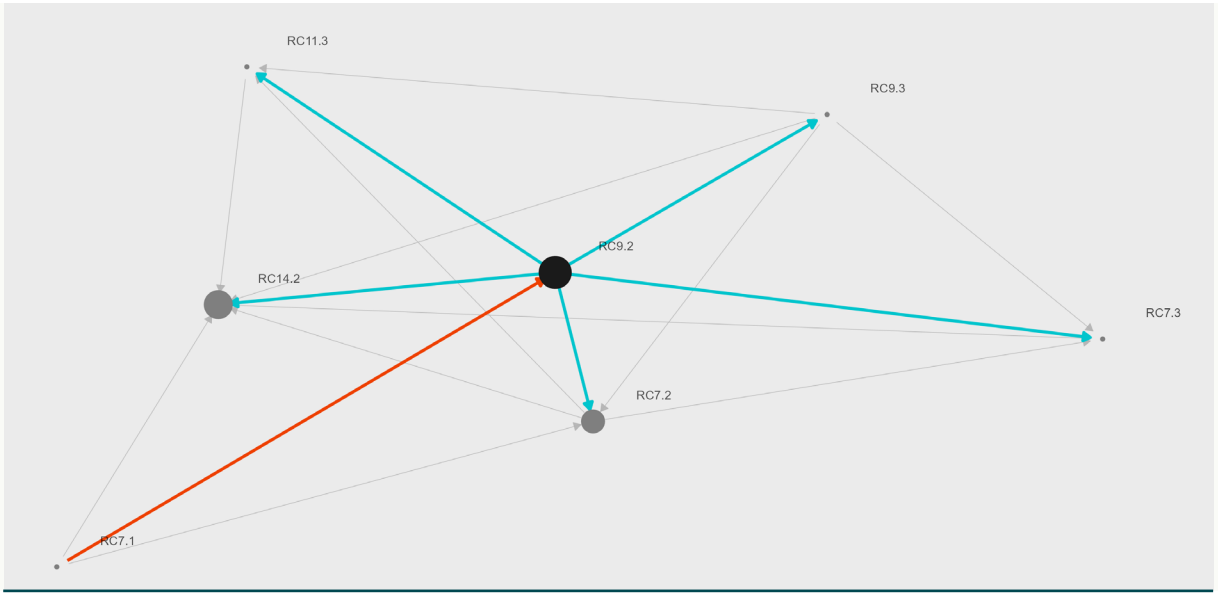


Figura 41. RC9.2.

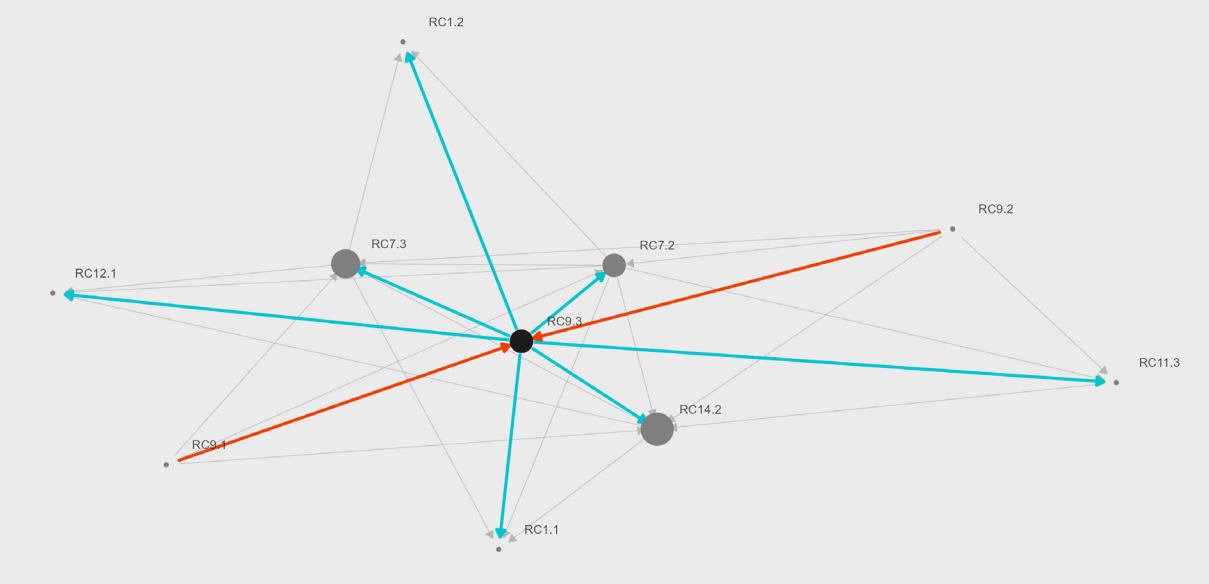


Figura 42. RC9.3.

4.10. Movilidad y transporte

El *Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos* (**Figura 43**) tiene grado de entrada 5 y grado de salida 7.

El *Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras (taludes, calzada, firmes de carretera y puentes) debido a eventos extremos (temperatura extrema, inundaciones fluviales, pluviales y costeras)*[17] (**Figura 44**) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 6.

El *Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (temperatura extrema, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, nieblas, incendios, nieve)*[18] (**Figura 45**) tiene grado de entrada 4 y grado de salida 3.

El *Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos (incendios, inundaciones fluviales, costeras, pluviales, precipitaciones intensas, incendios, nieve, hielo, vientos extremos)*[19] (**Figura 46**) tiene grado de entrada 3 y grado de salida 2.

[17] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC10.2 Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[18] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC10.3 Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[19] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC10.4 Riesgo de interrupción al transporte ferroviario debido a eventos extremos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

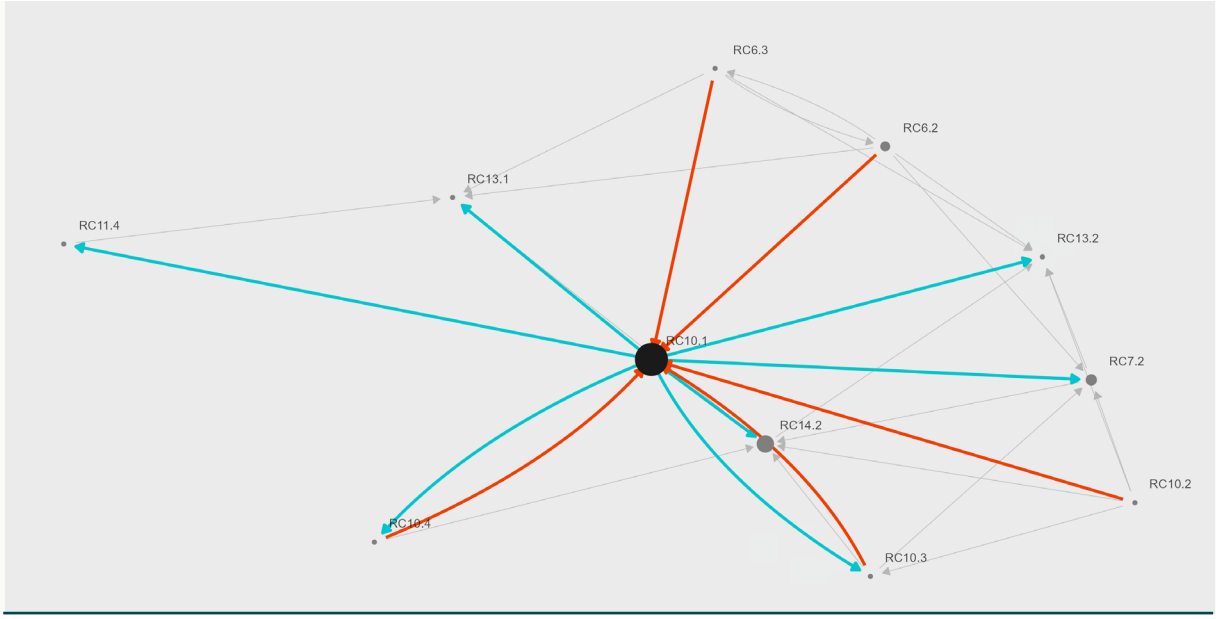


Figura 43. RC10.1.

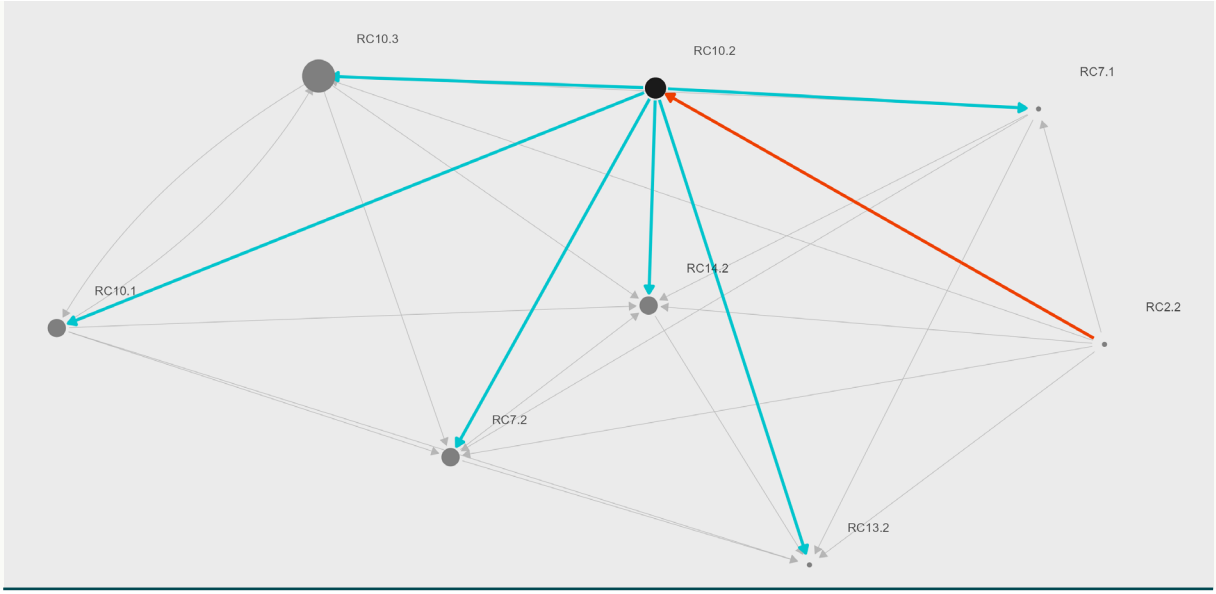


Figura 44. RC10.2.

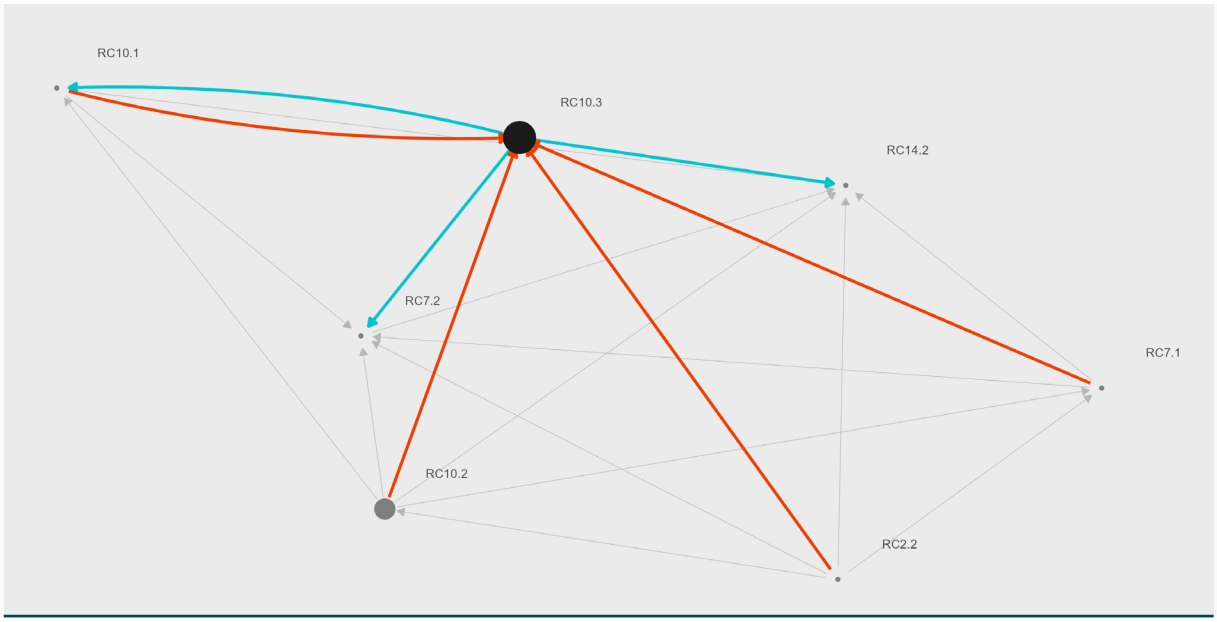


Figura 45. RC10.3.

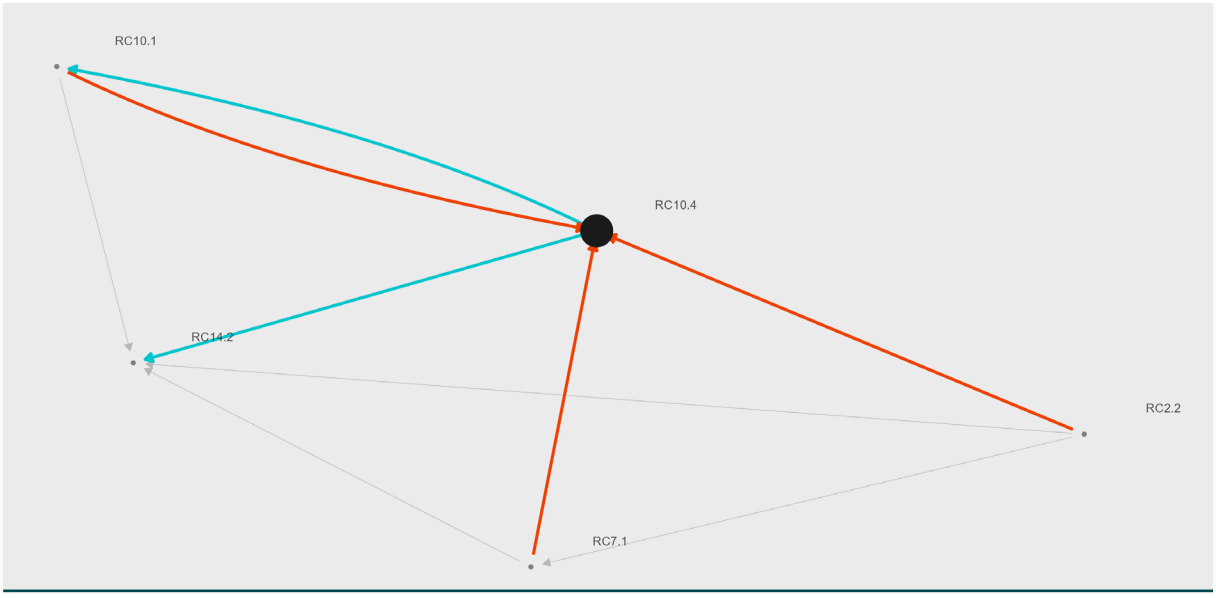


Figura 46. RC10.4.

4.11. Industria y servicios

El *Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos* (**Figura 47**) tiene grado de entrada 4 y grado de salida 7.

El *Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico* (**Figura 48**) tiene grado de entrada 6 y grado de salida 3.

El *Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas* (**Figura 49**) tiene grado de entrada 4 y grado de salida 3.

El *Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas dependen de las condiciones climáticas (ganadería, agricultura, silvicultura, etc.)* (**Figura 50**) tiene grado de entrada 12 y grado de salida 5.

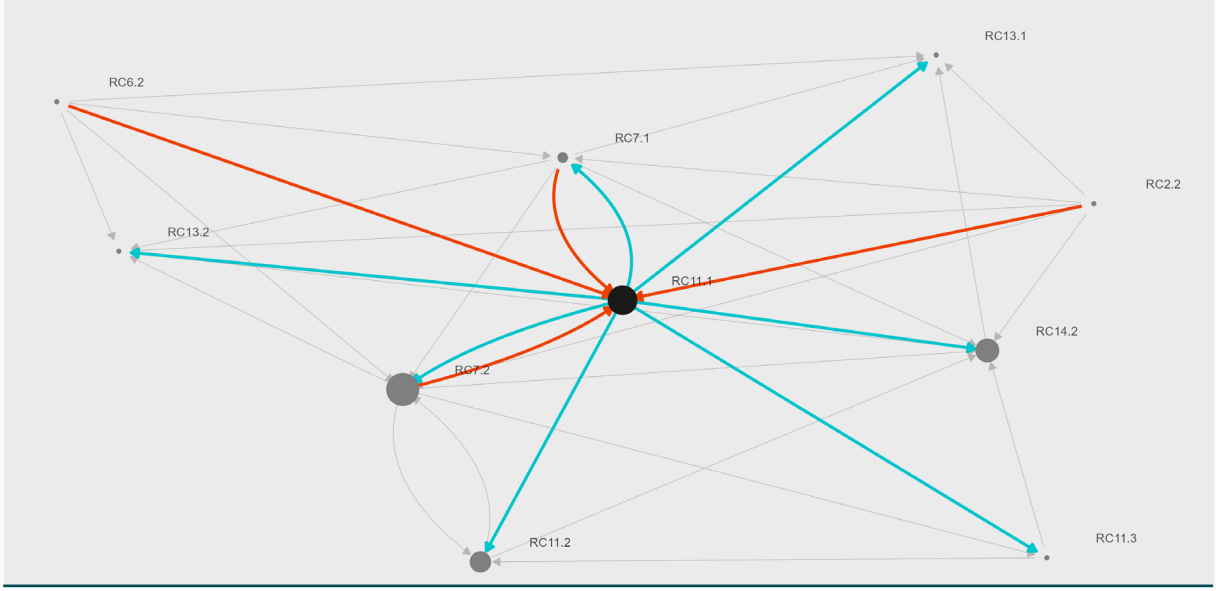


Figura 47. RC11.1.

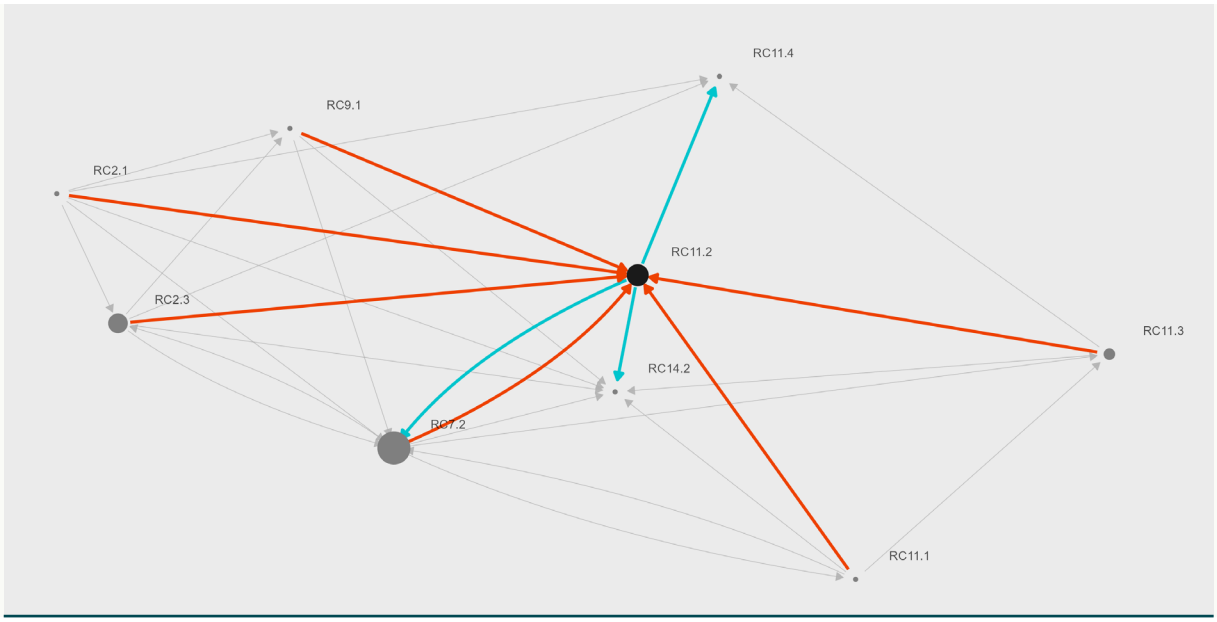


Figura 48. RC11.2.

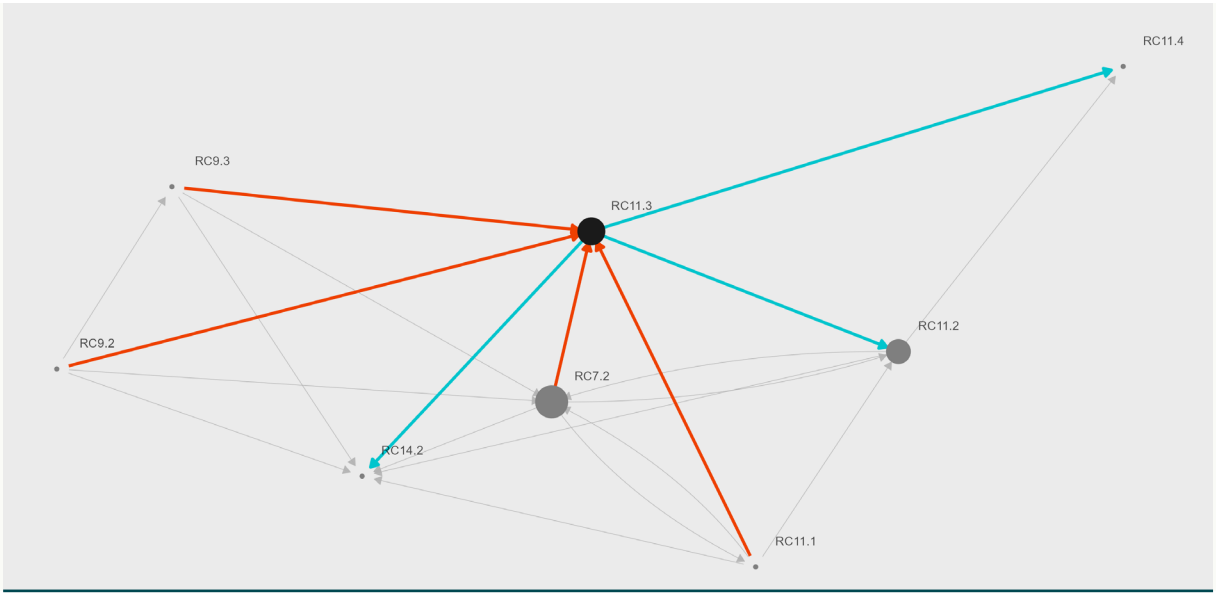


Figura 49. RC11.3.

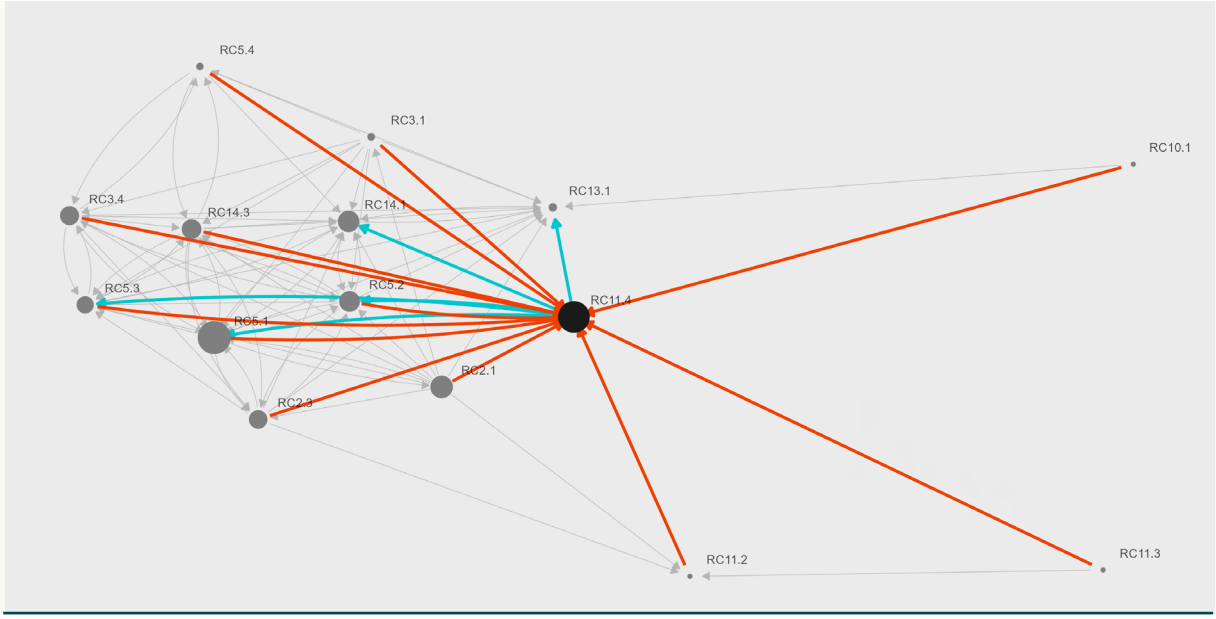


Figura 50. RC11.4.

4.12. Turismo

El *Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasar los umbrales de confort* (Figura 51) tiene grado de entrada 5 y grado de salida 3.

El *Riesgo de un aumento de la percepción de falta de seguridad de los turistas debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos*[20] (Figura 52) tiene grado de entrada 1 y grado de salida 1.

El *Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales*[21] (Figura 53) tiene grado de entrada 14 y grado de salida 3.

[20] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC12.2 Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

[21] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC12.3 Riesgo de reducción del turismo por la desaparición o degradación de recursos turísticos naturales debido a impactos climáticos, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

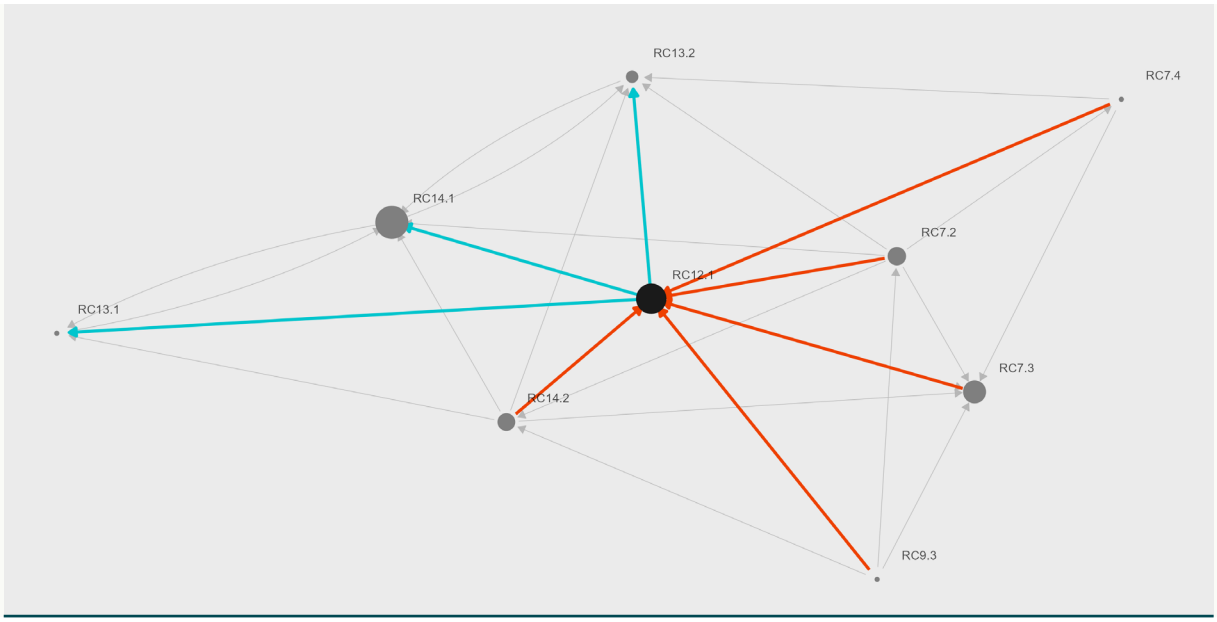


Figura 51. RC12.1.

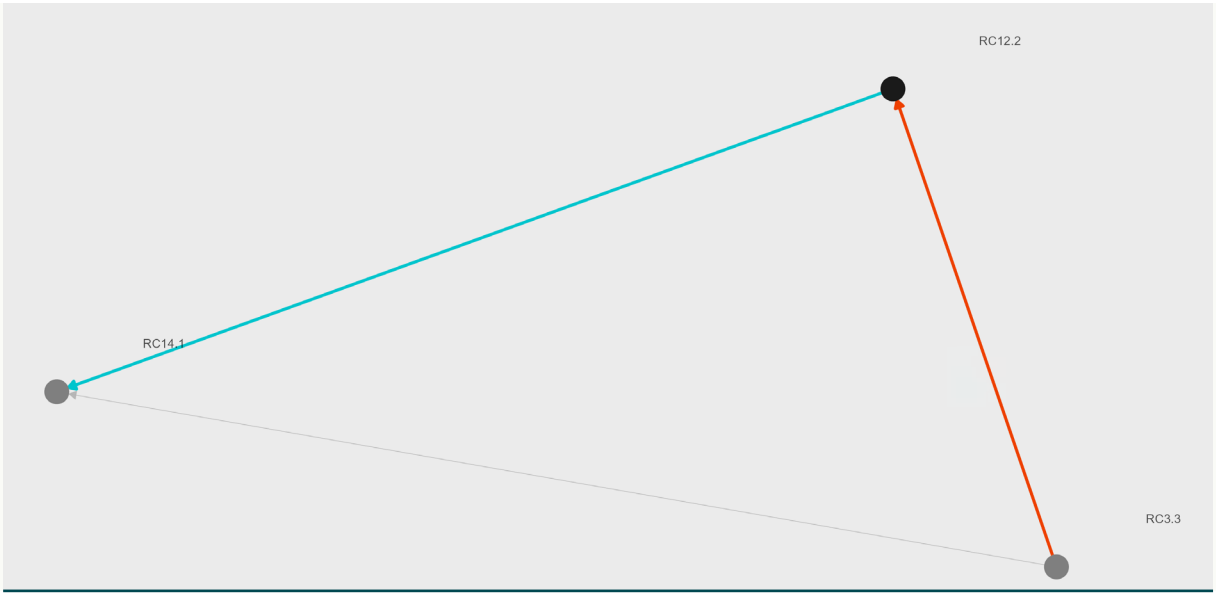


Figura 52. RC12.2.

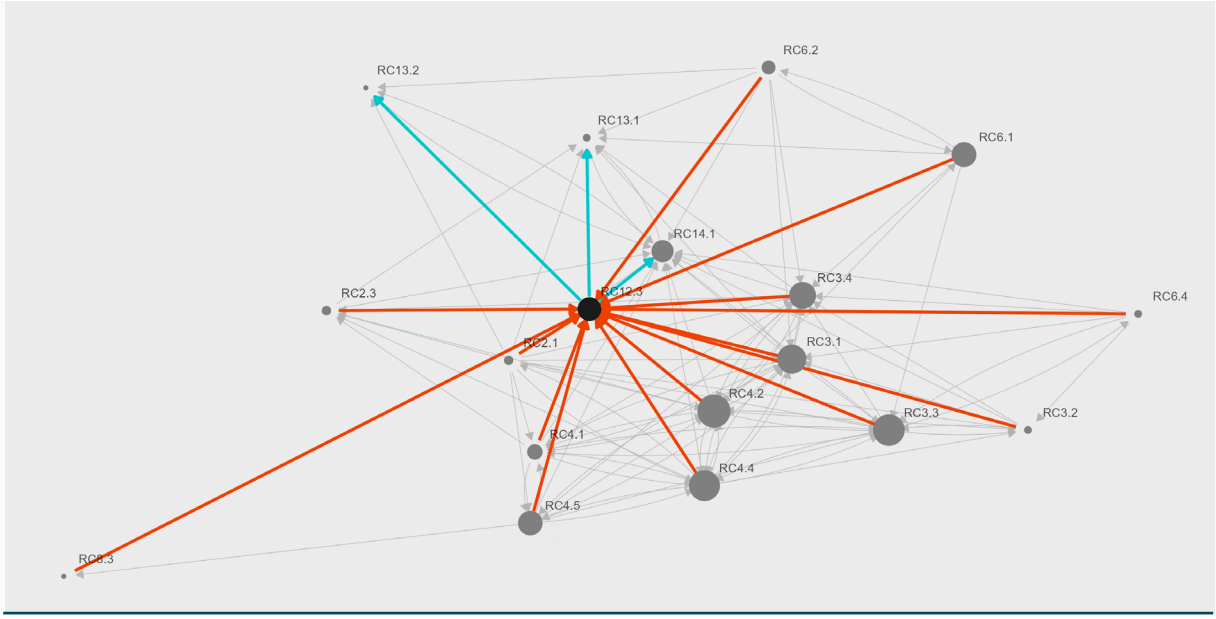


Figura 53. RC12.3.

4.13. Sistema financiero y actividad aseguradora

El *Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático* (**Figura 54**) tiene grado de entrada 22 y grado de salida 1.

El *Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático* (**Figura 55**) tiene grado de entrada 19 y grado de salida 1.

El *Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez* (**Figura 56**) tiene grado de entrada 8 y grado de salida 2.

El *Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima*[22] (**Figura 57**) tiene grado de entrada 13 y grado de salida 1.

[22] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC13.4 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

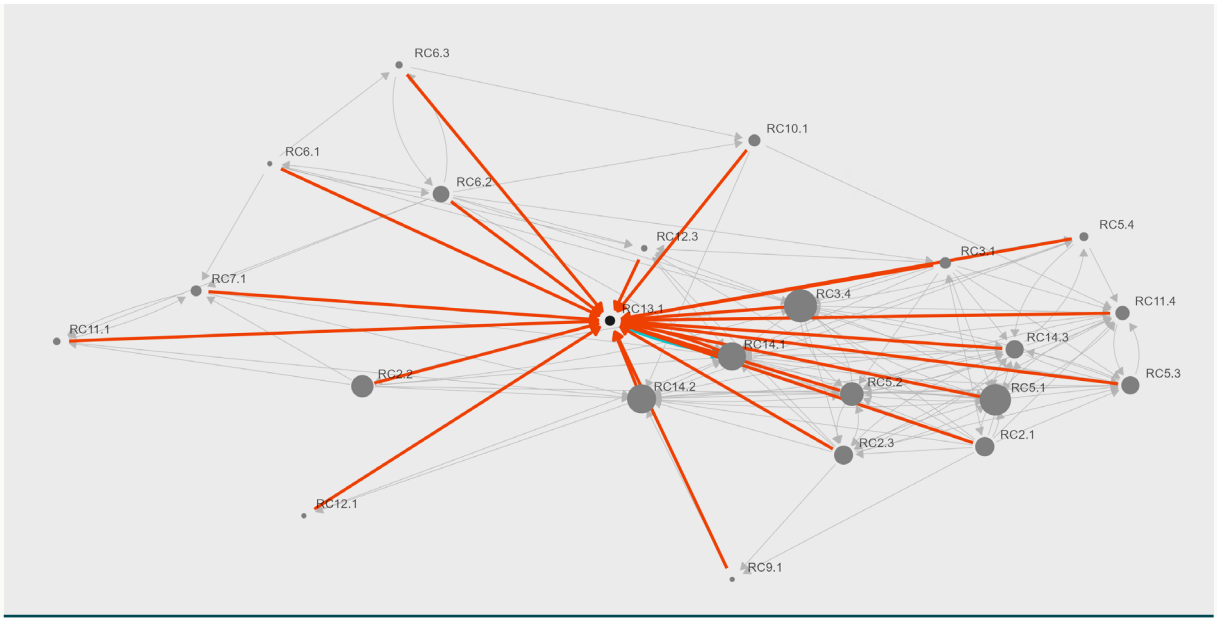


Figura 54. RC13.1.

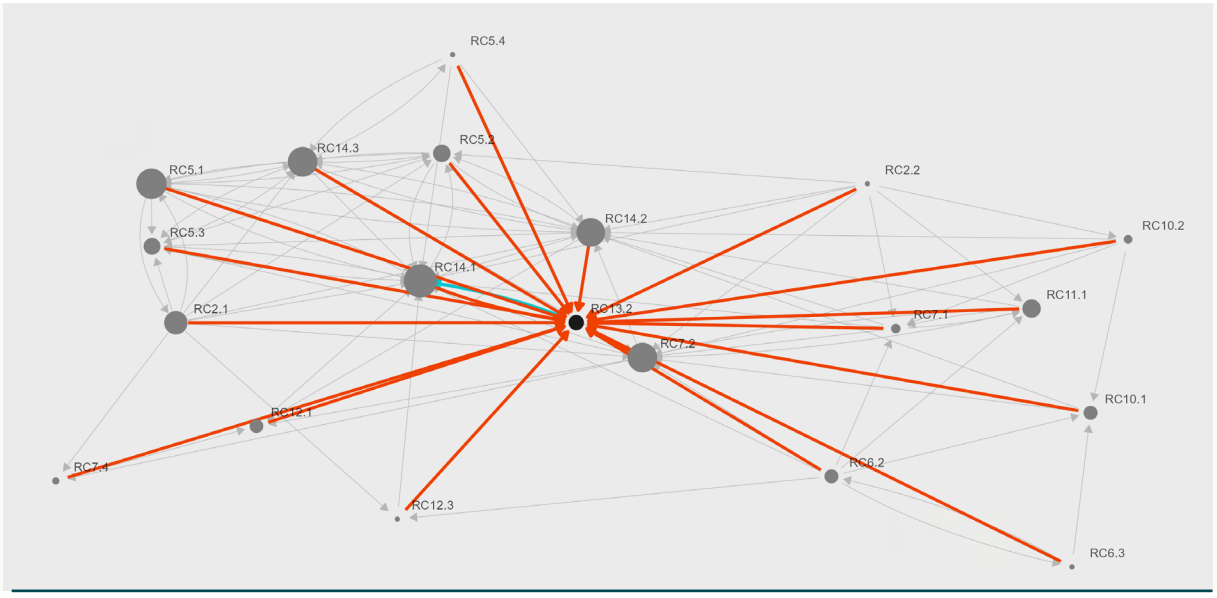


Figura 55. RC13.2.

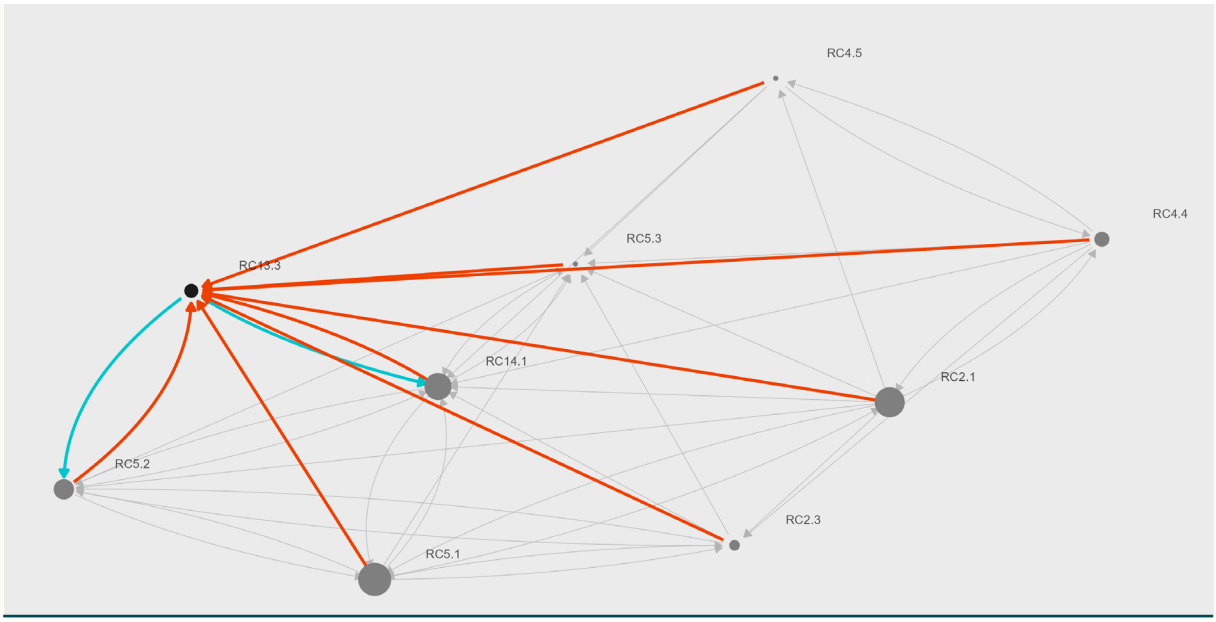


Figura 56. RC13.3.

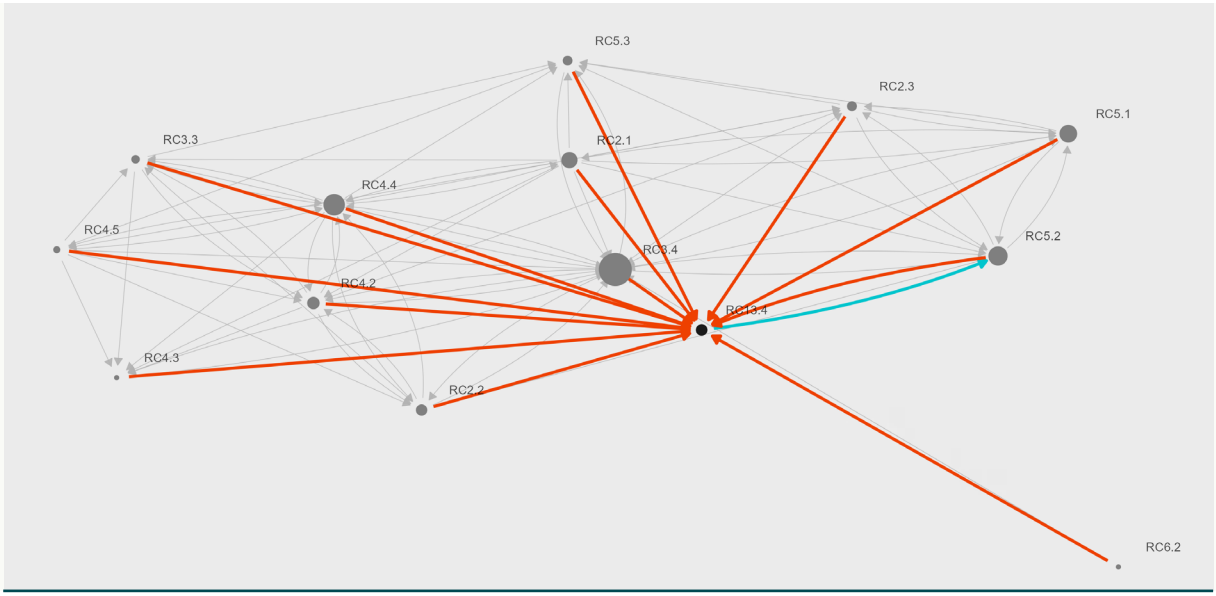


Figura 57. RC13.4.

4.14. Paz, seguridad y cohesión social

El *Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático* (**Figura 58**) tiene grado de entrada 29 y grado de salida 7.

El *Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados de amenazas climáticas*[23] (**Figura 59**) tiene grado de entrada 20 y grado de salida 9.

El *Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos* (**Figura 60**) tiene grado de entrada 10 y grado de salida 11.

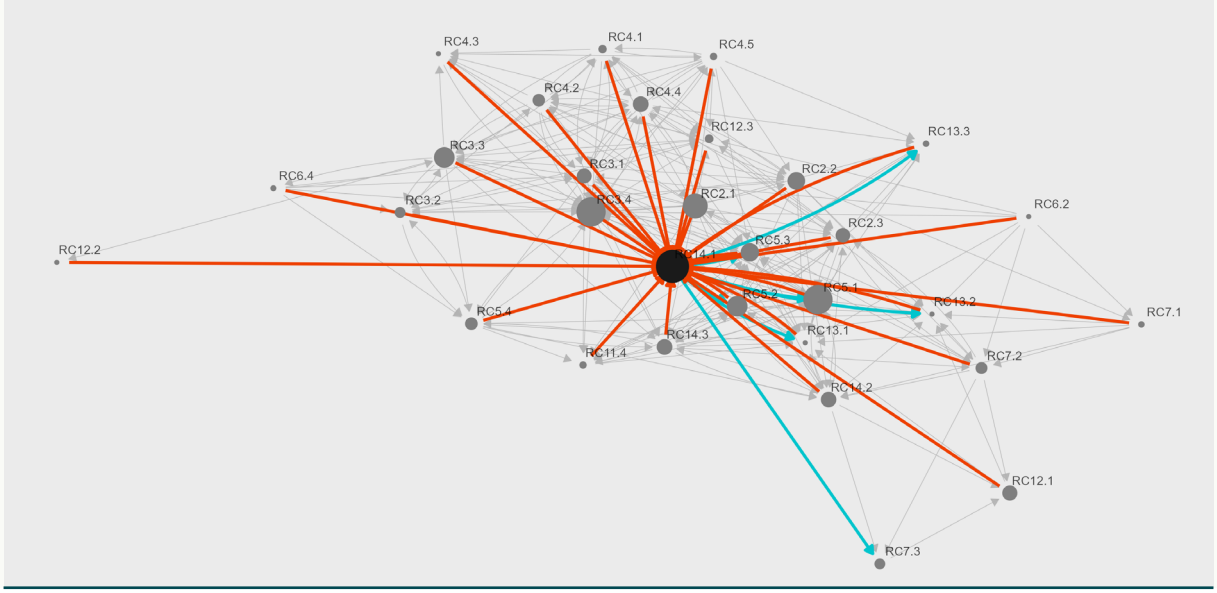


Figura 58. RC14.1.

[23] Este riesgo se ve reflejado en el capítulo sectorial como RC14.2 Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático, ya que la denominación del riesgo ha variado durante el proceso de análisis.

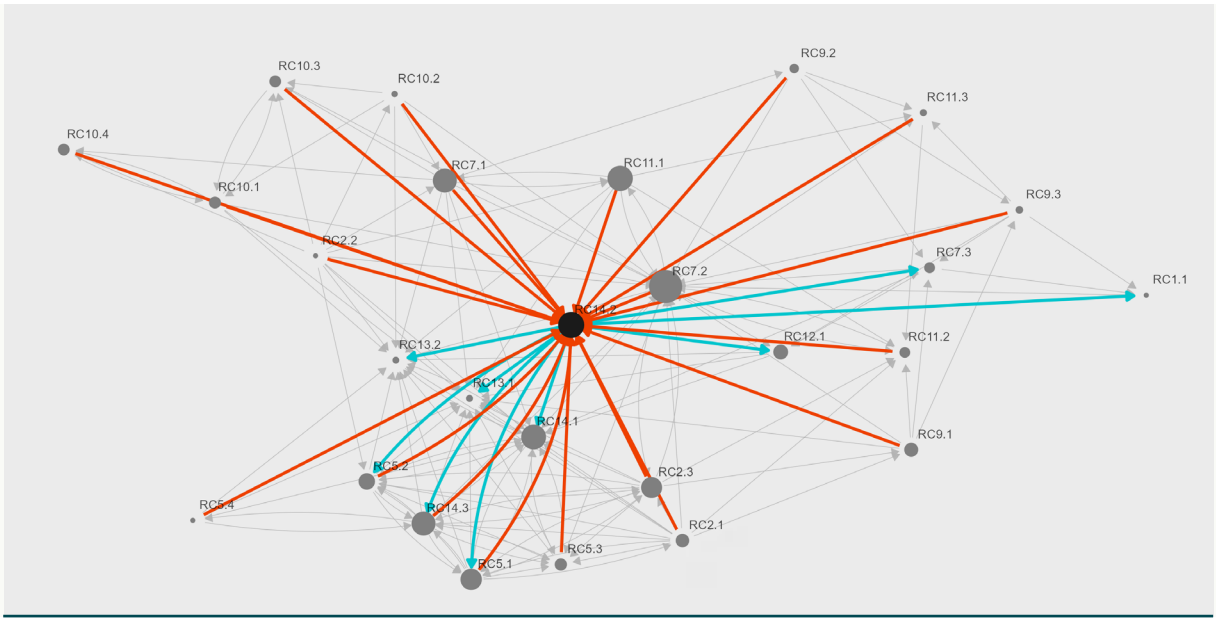


Figura 59. RC14.2.

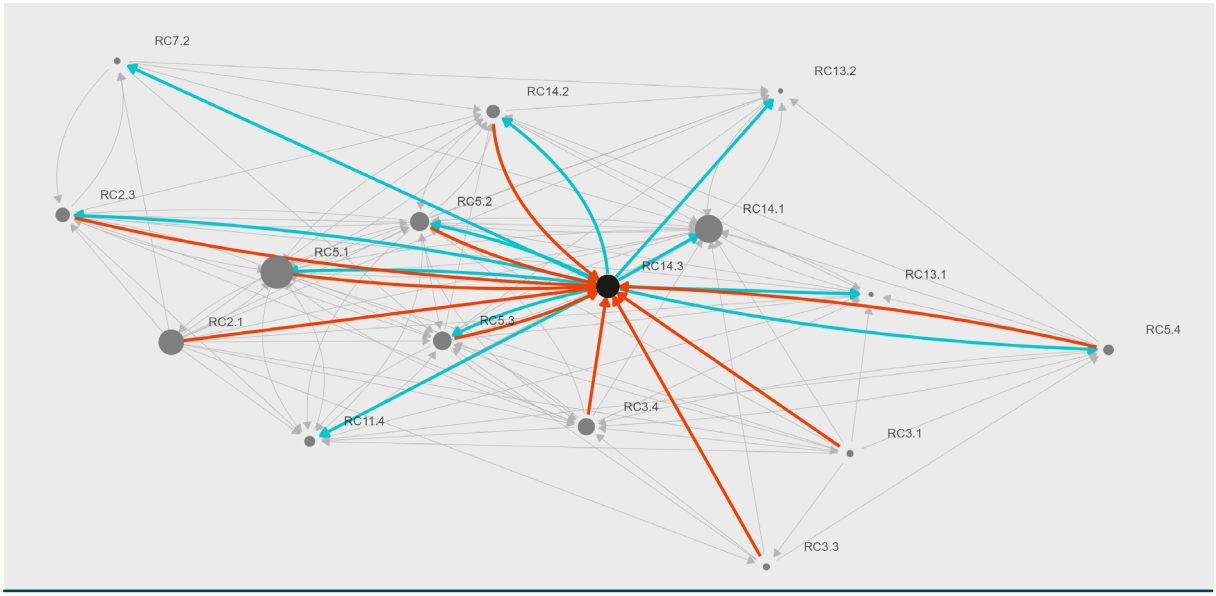


Figura 60. RC14.3.

5. Conclusiones

Dado que se trata de un análisis de riesgos complejos que abarca una amplia variedad de riesgos pertenecientes a sectores muy diversos, resulta especialmente desafiante abordar de manera integral todas sus interacciones y particularidades. En este contexto, uno de los aspectos más relevantes a destacar es la elevada participación de agentes provenientes de distintos ámbitos. Esta diversidad de actores ha sido clave para asegurar la inclusión de múltiples perspectivas, lo que no solo enriquece el análisis, sino que también contribuye a fortalecer la validez y la robustez de los resultados obtenidos. La colaboración intersectorial permite capturar mejor las interdependencias entre riesgos y facilita la identificación de puntos críticos que podrían pasar desapercibidos en enfoques más fragmentados.

El análisis de los riesgos asociados al cambio climático desde una perspectiva de riesgos complejos, utilizando teoría de grafos, ha permitido obtener una visión estructural y relacional del sistema de riesgos. Los resultados señalan una red altamente interconectada, con densidades elevadas y diámetros reducidos. Esta configuración indica que los riesgos están fuertemente vinculados entre sí y que los efectos pueden propagarse con rapidez a través del sistema. La alta densidad sugiere una gran cantidad de relaciones entre los riesgos, mientras que el pequeño diámetro refleja que cualquier riesgo puede influir en otro con muy pocos pasos intermedios. Esta estructura refuerza la necesidad de adoptar enfoques de gestión integrados y sistémicos, que consideren no solo los riesgos individuales, sino también sus interacciones y efectos en cascada.

En cuanto a los nodos más influyentes, el análisis del grado de salida ha revelado que los riesgos del sector **Agua y recursos hídricos,** junto con los riesgos del sector **Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas** y el sector **Forestal, desertificación, caza y pesca continental**, son los que tienen mayor capacidad de desencadenar otros riesgos de forma directa. Estos riesgos actúan como motores del sistema, generando impactos que se propagan hacia múltiples sectores. Su identificación es clave para priorizar medidas para reducir estos riesgos, ya que intervenir sobre ellos puede reducir significativamente la propagación de efectos negativos en el sistema.

Por otro lado, el análisis del grado de entrada ha permitido identificar los riesgos más dependientes, es decir, aquellos que se ven más afectados por otros. En este sentido, los riesgos de los sectores **Paz, seguridad y cohesión social, Sistema financiero y actividad aseguradora**

y, en menor medida, **Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas,** destacan por su alta exposición a influencias externas. Estos sectores no solo acumulan impactos, sino que también pueden amplificarlos si no se gestionan adecuadamente. Su vulnerabilidad estructural los convierte en puntos críticos para la resiliencia del sistema, y por tanto, deben ser objeto de especial atención en las estrategias de adaptación.

La métrica de cercanía ha puesto de manifiesto que los riesgos de los sectores **Agua y recursos hídricos, Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas** y **Forestal, desertificación, caza y pesca continental** son los que más rápidamente pueden verse afectados por el resto del sistema. Su posición central en la red los convierte en indicadores sensibles del estado general del sistema de riesgos. Esta característica los hace especialmente relevantes para la detección temprana de crisis y para la implementación de respuestas rápidas y coordinadas.

Finalmente, el análisis de intermediación ha identificado a los riesgos de los sectores **Patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas, Agricultura, ganadería, pesca y acuicultura y alimentación, Paz, seguridad y cohesión social, Agua y recursos hídricos** y **Ciudad, urbanismo y edificación** como nodos clave en la propagación de efectos. Estos riesgos actúan como puentes entre diferentes partes del sistema, facilitando o bloqueando la transmisión de impactos. Su papel estructural los convierte en puntos estratégicos para intervenir y modular la dinámica del sistema. En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de adoptar una visión sistémica en la gestión del riesgo climático, priorizando aquellos nodos que, por su posición en la red, tienen un mayor potencial para influir en la estabilidad del conjunto.

Adicionalmente, el análisis de los riesgos complejos de forma particular permite informar las políticas y los agentes que estén interesados en un riesgo en concreto y quieran conocer qué riesgos les pueden afectar directamente o aquellos a los que pueden afectar. Esta información es a su vez de interés para los capítulos sectoriales y será un *input* para la determinación de la priorización de los riesgos clave.

Finalmente, al analizar los resultados de forma más detallada, observando las conexiones entre riesgos clave de manera individual, se evidencian diferencias significativas tanto en el número como en el tipo de relaciones directas que presentan. Algunos riesgos muestran una conectividad limitada, con pocas relaciones directas con otros nodos, mientras que otros presentan un número de conexiones considerablemente mayor. En cuanto al tipo de relaciones, también se observan patrones diversos: en ciertos casos predominan las relaciones de entrada, lo que indica una mayor dependencia de otros riesgos; en otros las relaciones de salida son más frecuentes, reflejando una mayor capacidad de influencia sobre el sistema.

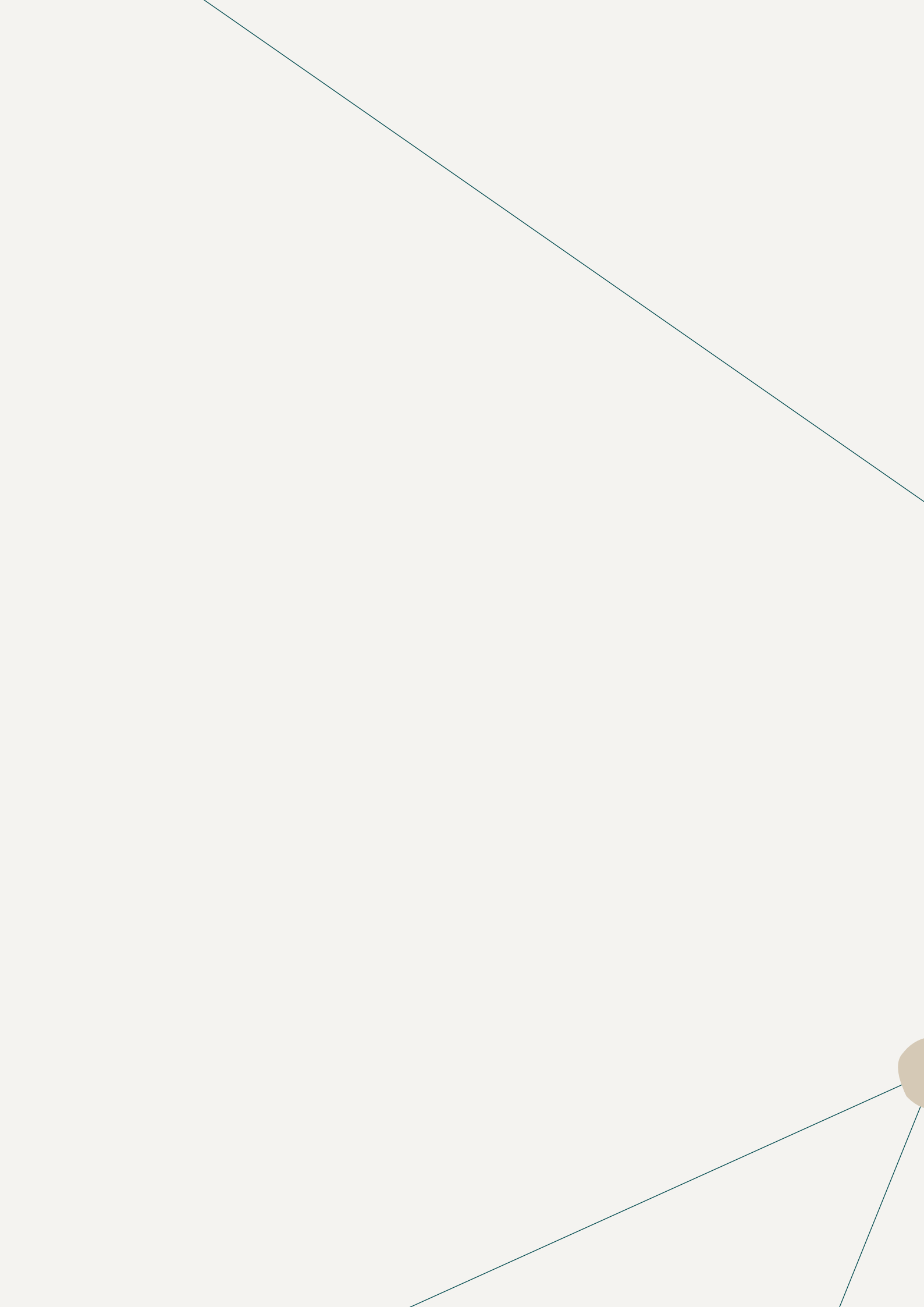
Finalmente, existen riesgos en los que se mantiene un equilibrio entre relaciones de entrada y salida, lo que sugiere una doble función como receptores e impulsores de impactos. Esta heterogeneidad en la estructura de relaciones refuerza la necesidad de un análisis diferenciado y contextualizado para cada riesgo, considerando no solo su posición en la red, sino también la naturaleza de sus vínculos con el resto del sistema.

ericc

Evaluación de
Riesgos e Impactos
del Cambio Climático

PARTE IV

Anexos



ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Anexo I.

Listado de riesgos relevantes y riesgos clave

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este anexo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Coordinación del Anexo

Laro González Canoura (IH Cantabria)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita. © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este anexo debe citarse de la siguiente manera:

González Canoura, L. (Coord.)(2025) Anexo I. Listado de riesgos relevantes y riesgos clave. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

Riesgos Relevantes (RR) y Riesgos Clave (RC)

(Los riesgos clave aparecen marcados en negrita).

SALUD		
RR1.1	**Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad asociada al calor, sobre todo en colectivos vulnerables.**	RC1.1
RR1.2	Riesgo de reducción del confort térmico en viviendas y en el espacio público como consecuencia del aumento de las temperaturas.	
RR1.3	**Riesgo de aumento de la mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas.**	RC1.2
RR1.4	Riesgo de aumento de enfermedades zoonóticas/vectoriales transmitidas por mosquitos como consecuencia de cambios en las variables climáticas.	
RR1.5	Riesgo de incremento de la duración y gravedad de las enfermedades alérgicas como el asma, la rinitis, las conjuntivitis alérgicas o alguna dermatitis por cambios en las variables climáticas.	
RR1.6	Riesgo del incremento de enfermedades derivadas del aumento de los patógenos en el agua o los alimentos por cambios en las variables climáticas.	
RR1.7	Riesgo de aumento de los daños directos e indirectos sobre la salud de las personas como consecuencia de eventos meteorológicos y climáticos extremos.	
RR1.8	Riesgo de afección a la salud mental de las personas, como resultado de eventos meteorológicos y climáticos extremos.	
RR1.9	Riesgo de aumento de la presión sobre el sistema público de salud inducida por el cambio climático.	
RR1.10	**Riesgo de aumento de la morbimortalidad asociada al efecto sinérgico de incremento de la contaminación atmosférica y de la temperatura.**	RC1.3

AGUA Y RECURSOS HÍDRICOS		
RR2.1	**Riesgo de daños por sequías extremas de larga duración.**	RC2.1
RR2.2	**Riesgo de daños por inundaciones pluviales y fluviales.**	RC2.2
RR2.3	**Riesgo para los diferentes usos y demandas por reducción de la disponibilidad de recursos hídricos en cantidad y calidad suficientes.**	RC2.3
RR2.4	Riesgo para la seguridad y funcionalidad de las infraestructuras hidráulicas por fenómenos meteorológicos extremos.	
RR2.5	**Riesgo para el patrimonio natural y la biodiversidad derivado de los impactos del cambio climático en el ciclo del agua.**	(*)

(*) El análisis de este riesgo está integrado en varios riesgos clave del ámbito de Patrimonio Natural, biodiversidad y áreas protegidas, entre ellos el RC3. 2, *Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.)*. Por esta razón no se analiza de forma independiente.

PATRIMONIO NATURAL, BIODIVERSIDAD Y ÁREAS PROTEGIDAS		
RR3.1	**Riesgo de pérdida global de biodiversidad como consecuencia de la agregación de impactos derivados del cambio climático en todos sus niveles.**	RC3.1
RR3.2	Riesgo de erosión, alteración y pérdida de formaciones geológicas únicas debido a distintas amenazas climáticas.	
RR3.3	**Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas acuáticos debido a las alteraciones en las variables climáticas (cambios de patrones de precipitación, temperatura del agua, etc.).**	RC3.2
RR3.4	Riesgo de declive poblacional y extinciones locales en ecosistemas terrestres debido a las alteraciones en las variables climáticas.	
RR3.5	Riesgo sobre la estabilidad de los ecosistemas marinos (estructura y funcionamiento) y pérdida de especies asociadas, por aumento de olas de calor marinas, aumento de temperatura del agua y acidificación.	
RR3.6	**Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a los cambios fenológicos y otros factores producidos por alteraciones en las variables climáticas.**	RC3.3
RR3.7	**Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a cambios en las variables climáticas.**	RC3.4
RR3.8	Riesgo de afección a especies estructurantes de los ecosistemas debido a las alteraciones en las variables climáticas.	
RR3.9	Riesgo de pérdida de hábitats debido a las alteraciones en las variables climáticas.	
RR3.10	Riesgo de entrada y expansión de especies exóticas invasoras (EEIs) inducidos por el clima en los ecosistemas terrestres, marinos y de agua dulce.	
RR3.11	Riesgo de incremento de las plagas y enfermedades debido a alteraciones en las variables climáticas.	

SECTOR FORESTAL, DESERTIFICACIÓN, CAZA Y PESCA CONTINENTAL		
RR4.1	Riesgo de pérdida de hábitat favorable para las especies forestales y de biodiversidad forestal (genética, especies) como consecuencia de cambios en los valores medios y extremos del clima.	
RR4.2	**Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los bosques como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima.**	RC4.1
RR4.3	Riesgo de pérdida de salud del estado de los bosques por aumento de especies patógenas y plagas favorecidas por el cambio climático, así como por el aumento de las condiciones de estrés que este conlleva para las especies vegetales.	
RR4.4	**Riesgo de erosión y pérdida de calidad del suelo en los ecosistemas forestales por cambios de temperatura y, particularmente, de precipitación, sobre todo la extrema.**	RC4.2 (*1)
RR4.5	**Riesgo de pérdida de productividad y de capacidad de absorción y almacenamiento de carbono de los bosques debido a los cambios de las variables climáticas.**	RC4.3
RR4.6	Riesgo de pérdida de capacidad de producción de madera y fibra por cambios en las variables climáticas.	
RR4.7	Riesgo de pérdida de producción de productos forestales no maderables por cambios en las variables climáticas.	
RR4.8	**Riesgo de desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales.**	RC4.4
RR4.9	**Riesgo de pérdida de masas forestales debido al aumento del peligro de incendio causado por el cambio climático.**	RC4.5
RR4.10	**Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos (regulación del ciclo hidrológico, protección frente a la erosión, valores recreativos y de conservación) de los bosques debido a los cambios del clima.**	(*2)
RR4.11	Riesgo de pérdida de recursos cinegéticos y pesqueros continentales derivados de la pérdida de productividad vegetal terrestre y de los cambios del hábitat acuático como consecuencia del cambio climático.	

(*1) El análisis de este riesgo (codificado como RC4.6 en el capítulo sectorial) está integrado en el RC4.4 *Desertificación debido al agravamiento de las condiciones de aridez como consecuencia del aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de las sequías, una mayor torrencialidad de las lluvias y un aumento del riesgo de incendios forestales. Por esta razón no se analiza de forma independiente.*

(*2) El análisis de este riesgo está integrado en el RC3.4 *Riesgo de pérdida o degradación de servicios ecosistémicos por alteraciones de la funcionalidad de los ecosistemas debido a cambios en las variables climáticas*. Por esta razón no se analiza de forma independiente.

AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA, ACUICULTURA Y ALIMENTACIÓN		
RR5.1	Riesgo de pérdida de las zonas óptimas para la producción agrícola de cultivos por cambios en las variables climáticas.	
RR5.2	**Riesgo de daños o pérdidas de cosechas por estrés hídrico, aumento de periodos de sequía y menor disponibilidad de agua.**	RC5.1
RR5.3	**Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por eventos climáticos extremos.**	RC5.2
RR5.4	Riesgo de daños y/o pérdidas de cosechas por aparición de nuevas plagas y enfermedades.	
RR5.5	Riesgo de mayor variabilidad de la producción de la agricultura y menor estabilidad del sector por las oscilaciones del clima.	
RR5.6	Riesgo de degradación y/o pérdida del suelo derivada de eventos meteorológicos extremos.	
RR5.7	Riesgo de pérdida de zonas cultivables por intrusión salina de los acuíferos y/o por subida del nivel del mar.	
RR5.8	**Riesgo de pérdidas de producción ganadera, bienestar animal e incluso mortalidad por subida de temperatura, por olas de calor y descenso de precipitaciones.**	RC5.3
RR5.9	Riesgo para la ganadería debido al aumento de plagas, patógenos y cambios en la distribución de vectores, incluidos los de zoonosis por la subida de temperaturas.	
RR5.10	Riesgo para la producción ganadera debido a la disminución de la disponibilidad y calidad del forraje y pastos como consecuencia de las sequías y las altas temperaturas.	
RR5.11	**Riesgo de pérdida de productividad pesquera por cambios en la distribución de especies en los stocks poblacionales debido a la modificación de las variables climáticas oceánicas.**	RC5.4
RR5.12	Riesgo de pérdida de seguridad alimentaria por impactos climáticos en la producción agraria y cadenas de suministro a nivel nacional e internacional.	
RR5.13	Riesgo de pérdida de alimentos por disrupciones a lo largo de la cadena alimentaria derivadas de eventos climáticos extremos.	

COSTAS Y MEDIO MARINO		
RR6.1	**Riesgo de pérdida permanente de superficie emergida en la costa, por inundación y erosión, debido al aumento del nivel medio del mar relativo.**	RC6.1
RR6.2	Riesgo de salinización de acuíferos o del terreno por aumento del nivel medio del mar relativo y por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar y oleaje extremos.	
RR6.3	**Riesgos de daños directos a personas, activos naturales y económicos por inundación debido al aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.**	RC6.2
RR6.4	**Riesgo de pérdida de funcionalidad u operatividad de infraestructuras de protección portuarias por aumento de la intensidad y frecuencia de los eventos de nivel del mar, oleaje y viento extremos.**	RC6.3
RR6.5	**Riesgo de desplazamiento o desaparición de hábitat y/o de especies marinas por incremento de la temperatura superficial del mar y la acidificación del océano.**	RC6.4
RR6.6	Riesgo de incremento de blooms algales nocivos o aparición de especies invasoras por incremento de la temperatura superficial del mar.	
RR6.7	Riesgo de pérdida de hábitats costeros y servicios ecosistémicos asociados por aumento del nivel medio del mar relativo.	

CIUDAD, URBANISMO Y EDIFICACIÓN		
RR7.1	**Riesgo de daños sobre las personas, edificaciones e infraestructura urbana (principalmente redes de saneamiento, drenaje, electricidad y transporte) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos.**	RC7.1
RR7.2	**Riesgo de alteraciones graves en el suministro o desabastecimiento en servicios básicos, especialmente de agua, energía y comunicaciones, por eventos climáticos extremos (inundaciones, sequías, temperaturas extremas).**	RC7.2
RR7.3	**Riesgo de pérdida de confort y habitabilidad en viviendas, equipamientos públicos, lugares de trabajo, etc. por altas temperaturas.**	RC7.3
RR7.4	**Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por intensificación del efecto de isla de calor urbana y/o pérdida de funcionalidad de las áreas verdes urbanas.**	RC7.4
RR7.5	Riesgo de incendios en interfaz urbano-forestal.	

PATRIMONIO CULTURAL		
RR8.1	**Riesgo de daños en edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, patrimonio submarino y arte rupestre situados en el litoral por inundaciones costeras, marejadas ciclónicas, subida del nivel freático y erosión costera.**	RC8.3
RR8.2	**Riesgo de daños en yacimientos arqueológicos del subsuelo, pinturas rupestres, frescos, edificios y cascos históricos debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido de humedad de los materiales.**	RC8.1
RR8.3	Riesgo de pérdida y alteraciones de patrimonio intangible (tradiciones, fiestas, rituales, conocimientos, modos de vida tradicionales, técnicas y prácticas) asociado a los cambios en el clima.	
RR8.4	**Riesgo de daños en patrimonio etnográfico y paisajes culturales debido a incendios.**	RC8.2
RR8.5	Riesgo de daños en bienes culturales debido a la degradación de los materiales por aumento de temperatura del aire e insolación directa.	
RR8.6	Riesgo de daños en el patrimonio construido debido a vientos extremos.	
RR8.7	Riesgo de abandono y deterioro del patrimonio tangible asociado a prácticas tradicionales en los paisajes culturales (e.g. paisajes agrarios, aterrazamientos, vallados de piedra seca, infraestructuras de riego y canalización de agua, etc.) por desertificación.	

ENERGÍA		
RR9.1	Riesgo medioambiental y para el suministro de energía primaria fósil por daño físico a la infraestructura del petróleo y el gas en áreas costeras (midstream y downstream) como consecuencia de inundaciones y eventos de mar (tormentas, tempestades, incremento del nivel del mar, etc.).	
RR9.2	Riesgo para la capacidad de generación eléctrica o de interrupciones de suministro debido a daños físicos producidos en infraestructuras energéticas como consecuencia de eventos extremos.	
RR9.3	Riesgo de reducción de la producción de energía procedente de biomasa debido a la reducción del recurso disponible por la reducción del aporte hídrico o el aumento del riesgo de incendio.	
RR9.4	**Riesgo para la capacidad y flexibilidad operativa del sistema eléctrico debido al descenso de la producción de energía hidroeléctrica por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos.**	RC9.1
RR9.5	Riesgo para la capacidad de generación eléctrica debido a la reducción de la producción de energía eólica por cambios en la velocidad del viento.	
RR9.6	Riesgo para la capacidad de generación eléctrica debido a la reducción de la producción de energía fotovoltaica por temperaturas extremas, cambios en la radiación solar y calima.	
RR9.7	Riesgo para la capacidad de generación de energía térmica debido a la reducción de la producción de energía geotérmica de baja temperatura por la disminución del nivel de los acuíferos.	
RR9.8	Riesgo para la capacidad de generación eléctrica en centrales térmicas por reducción de la eficiencia de los sistemas de refrigeración debido al descenso de recursos hídricos continentales, al aumento de la temperatura del agua y/o al aumento de la temperatura atmosférica.	
RR9.9	**Riesgo de reducción de la eficiencia y capacidad de transmisión de las líneas de transporte y distribución eléctrica por aumento de la temperatura atmosférica.**	RC9.2
RR9.10	Riesgo sobre el almacenamiento de energía debido a la reducción del rendimiento de las baterías eléctricas por aumento de la temperatura atmosférica.	
RR9.11	Riesgo de reducción de la producción de H_2 verde por reducción de la disponibilidad de los recursos hídricos.	
RR9.12	**Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento del consumo energético y/o picos de demanda como consecuencia de las altas temperaturas.**	RC9.3

MOVILIDAD Y TRANSPORTE		
RR10.1	**Riesgo de daños y disminución de la operatividad portuaria por eventos extremos.**	RC10.1
RR10.2	Riesgo de afección a las rutas comerciales del transporte marítimo por eventos extremos marítimos.	
RR10.3	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte marítimo por eventos extremos.	
RR10.4	Riesgo de aislamiento debido a la interrupción del transporte marítimo por eventos extremos marítimos.	
RR10.5	**Riesgo de daños en las infraestructuras de la red de carreteras debido a eventos extremos.**	RC10.2
RR10.6	**Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos.**	RC10.3
RR10.7	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte por carretera por eventos extremos.	
RR10.8	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red ferroviaria debido a eventos extremos.	
RR10.9	**Riesgo de interrupción del servicio ferroviario debido a eventos extremos.**	RC10.4
RR10.10	Riesgo de afección a las cadenas de suministro debido a interrupciones en la operatividad del transporte ferroviario por eventos extremos.	
RR10.11	Riesgo de mayores necesidades de refrigeración debido a un aumento de las temperaturas.	
RR10.12	Riesgo de daños en las infraestructuras de la red aeroportuaria por eventos extremos.	
RR10.13	Riesgo de disminución de la operatividad de los aeropuertos por eventos extremos.	
RR10.14	Riesgo de pérdidas económicas por la variación de la capacidad del avión y longitud de pista para el despegue por aumento de las temperaturas.	

INDUSTRIA Y SERVICIOS		
RR11.1	**Riesgo de daños en las infraestructuras industriales y de servicios debido a eventos extremos.**	RC11.1
RR11.2	**Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por la reducción del aporte hídrico.**	RC11.2
RR11.3	Riesgo de disminución de la operatividad y/o interrupción de los procesos industriales por disrupciones o falta en el suministro de la energía derivado de los cambios en el clima.	
RR11.4	**Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por temperaturas extremas.**	RC11.3
RR11.5	Riesgo de aumento del consumo energético o modificación de la dinámica de demanda por aumento de las temperaturas.	
RR11.6	Riesgo de disminución de la productividad laboral por temperaturas elevadas.	
RR11.7	**Riesgo de reducción en la disponibilidad de materias primas e incremento de los precios, cuando éstas dependen de las condiciones climáticas.**	RC11.4
RR11.8	Riesgo de interrupción de las cadenas de suministro debido a alteraciones en las operaciones de transporte, logística y distribución de los productos por eventos extremos.	
RR11.9	Riesgo de disminución de las ventas debido a cambios en las tendencias de consumo por efecto del cambio climático.	

TURISMO		
RR12.1	Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media en temporada alta por eventos extremos.	
RR12.2	**Riesgo de reducción del número de visitantes o de la estancia media por sobrepasar los umbrales de confort.**	RC12.1
RR12.3	Riesgo de reducción de turismo por la mejora comparativa de otros destinos turísticos.	
RR12.4	Riesgo de alteración de la actividad turística por sobrepasarse el umbral de confort para actividades recreativas en el exterior.	
RR12.5	**Riesgo de pérdida de demanda turística debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos.**	RC12.2
RR12.6	**Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos naturales debido a impactos climáticos.**	RC12.3
RR12.7	Riesgo de reducción del turismo por la degradación del medio, pérdida de especies, o incremento de especies invasoras.	
RR12.8	Riesgo de reducción del turismo por desaparición o degradación de alojamientos y otras infraestructuras turísticas por eventos extremos.	
RR12.9	Riesgo de incapacidad de satisfacer demandas turísticas por la desaparición o degradación de recursos hídricos y termales debido a impactos climáticos.	
RR12.10	Riesgo de reducción e incluso desaparición del turismo de nieve por aumento de temperaturas y reducción de la cobertura de nieve.	
RR12.11	Riesgo de reducción de turismo por daños en infraestructura de transporte y accesos a recursos turísticos.	
RR12.12	Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos culturales debido a impactos climáticos.	

SECTOR FINANCIERO Y ACTIVIDAD ASEGURADORA		
RR13.1	Riesgo de daño en infraestructuras financieras por eventos climáticos extremos.	
RR13.2	Riesgo de daño en redes de suministros y elementos expuestos de las entidades financieras por eventos climáticos extremos.	
RR13.3	**Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.**	RC13.1
RR13.4	**Riesgo de reducción de la actividad financiera por caída de inversión y ahorro en zonas altamente perturbadas por impactos del cambio climático.**	RC13.2
RR13.5	Riesgo de impago hipotecario por inundación.	
RR13.6	Riesgo de impago de titulaciones hipotecarias en caso de concentración geográfica en zonas afectadas por eventos climáticos extremos.	
RR13.7	Riesgo de impago de préstamos concedidos a empresas con actividad perturbada por escenarios de altas temperaturas (caída de la productividad del factor trabajo, disminuyendo ingresos, aumentando mortalidad e incrementando OPEX y CAPEX).	
RR13.8	**Riesgo de impago de préstamos por disminución de productividad agrícola y de otros sectores productivos dependientes del agua por sequía y aridez.**	RC13.3
RR13.9	Riesgo de necesidad inmediata de liquidez por catástrofes causadas por eventos climáticos extremos.	
RR13.10	Riesgo de refinanciación por catástrofes causadas por eventos climáticos extremos.	
RR13.11	Riesgo de aumento de compensaciones por seguros laborales contratados por incremento en la siniestralidad laboral por calor extremo.	
RR13.12	**Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola frente a sequías, granizadas, heladas, inundaciones y calor extremo, y plagas favorecidas por cambios en el clima.**	RC13.4
RR13.13	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas por seguros multirriesgo frente a borrascas de alta intensidad.	
RR13.14	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola y forestal frente a incendios forestales.	
RR13.15	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas frente a inundación.	
RR13.16	Riesgo de aumento del coste de las primas por aumento de la siniestralidad provocada por eventos climáticos extremos.	

PAZ, SEGURIDAD Y COHESIÓN SOCIAL		
RR14.1	Riesgo de crisis y conflictos en el ámbito nacional por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.	
RR14.2	**Riesgo de destrucción o degradación de medios de vida y de subsistencia por los impactos derivados del cambio climático.**	RC14.1
RR14.3	Riesgos derivados del incremento de los desplazamientos internos debido al empeoramiento de la calidad de vida y la pérdida de medios de subsistencia en los lugares de origen como consecuencia de amenazas climáticas como las sequías o las inundaciones.	
RR14.4	Riesgo sobre aspectos sociales, políticos y humanitarios derivados de las migraciones internacionales forzadas por el empeoramiento de la calidad de vida y la pérdida de medios de subsistencia en los lugares de origen como consecuencia del cambio climático.	
RR14.5	Riesgo de pérdida de cohesión social / territorial debido a la distribución desigual de los impactos que se derivan del cambio climático.	
RR14.6	**Riesgo sobre la seguridad debido a interrupciones graves en el suministro de agua, de energía o de alimentos o a daños sobre infraestructuras críticas derivados del cambio climático.**	RC14.2
RR14.7	**Riesgo de crisis y conflictos internacionales por impactos graves del cambio climático sobre los recursos naturales y por competencia por ellos.**	RC14.3
RR14.8	Riesgo de polarización social en torno a las políticas públicas de lucha contra el cambio climático.	

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

Anexo II.

Glosario

GOBIERNO DE ESPAÑA
VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Este anexo forma parte de la siguiente publicación:

Título

Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025)

Edición 2025

Asistencia técnica

Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (IH Cantabria)

Tecnalia Research and Innovation (Tecnalia)

Basque Centre for Climate Change (BC3)

Coordinación

Oficina Española de Cambio Climático: Patricia Klett Lasso de la Vega; Sara Rodríguez Rego; Francisco J. Heras Hernández; María Salazar Guerra; Vidal Labajos Sebastián

Fundación Biodiversidad: Ana Lancho Lucini

IH Cantabria: Íñigo Losada Rodríguez, Laro González Canoura, Javier López Lara

Tecnalia: Efrén Feliu Torres, Beñat Abajo Alda, María Puig Fuentenebro

BC3: María José Sanz

Con la colaboración de la Fundación Biodiversidad.

Autor/Autores del Anexo

Autor: Laro González Canoura (IH Cantabria)

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita: © SUBSECRETARÍA Gabinete Técnico

NIPO (línea en castellano): 665-25-058-6

ISBN: 978-84-18778-84-1

Edición y maquetación

Grupo Tangente S. Coop. Mad.

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados citando la fuente, y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Este capítulo debe citarse de la siguiente manera:

González Canoura, L. (2025) Anexo II. Glosario. En Losada, I.J., Feliu, E. y Sanz, M.J. (Coords.) 2025. Evaluación de Riesgos e Impactos derivados del Cambio Climático en España (ERICC-2025). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

El glosario que se presenta a continuación se adoptado principalmente de los glosarios AR6 2018[1] y 2023[2] así como las definiciones de la Guía Resumida del Sexto Informe -Grupo de Trabajo II por parte de la OECC 2022[3]. El glosario IPCC más reciente en castellano es el de 2018, puesto que todavía no hay un glosario oficial en castellano del Informe de Síntesis 2023. Las definiciones de impulsores climáticos se encuentran en el capítulo de Variables Climáticas.

Adaptación: El proceso de ajuste, en sistemas humanos y naturales, al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas.

AR6/Assessment Report 6: Informe de Evaluación por parte del IPCC dentro del 6º Ciclo de Evaluación (2015-2023) que proporciona una actualización del conocimiento sobre los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos del cambio climático. Consta de un informe de síntesis (2023) tres informes elaborados por tres grupos de trabajo: I sobre Base de ciencia física (2021), II sobre Impactos, adaptación y vulnerabilidad (2022) y III sobre Mitigación del cambio climático (2022). Adicionalmente se han generado tres informes especiales en que se incluyen en el Informe de Síntesis: Impactos de un calentamiento global de 1,5°C y las sendas de emisión relacionadas (2018); cambio climático y la degradación de la tierra (2019); y océanos y criosfera (2019).

Cambio Climático: Variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra.

---

[1] IPCC, 2018: Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

[2] IPCC, 2023: Annex I: Glossary [Reisinger, A., D. Cammarano, A. Fischlin, J.S. Fuglestvedt, G. Hansen, Y. Jung, C. Ludden, V. Masson-Delmotte, R. Matthews, J.B.K Mintenbeck, D.J. Orendain, A. Pirani, E. Poloczanska, and J. Romero (eds.)]. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 119-130, doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.002.

[3] OECC 2022. Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Guía Resumida del Sexto Informe de Evaluación del IPCC. Grupo de Trabajo II. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. Basado en materiales contenidos en el IPCC AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

Capacidad de adaptación (adaptive capacity): Capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias.

Capacidad de afrontamiento (coping capacity): Capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sistemas, mediante el uso de las aptitudes, valores, convicciones, recursos y oportunidades disponibles, para abordar, manejar y superar condiciones adversas a corto o mediano plazo.

Confianza (confidence): Solidez de un resultado basada en el tipo, la cantidad, la calidad y la coherencia de la evidencia (p. ej., la comprensión mecánica, la teoría, los datos, los modelos y el juicio experto) y el nivel de acuerdo entre múltiples evidencias.

Escenario (scenario): Descripción plausible de un futuro verosímil, basada en un conjunto coherente e internamente congruente de supuestos sobre las principales variables y sobre las relaciones más importantes. Obsérvese que los escenarios no son ni predicciones ni pronósticos, pero son útiles porque ofrecen un panorama de las consecuencias de la evolución de distintas situaciones y medidas.

Exposición: Hace referencia a la presencia de personas, medios de vida, servicios ambientales, recursos, infraestructura o bienes económicos, sociales o culturales en zonas que pudieran verse afectados negativamente por un peligro y, por tanto, sujetos a impactos, pérdidas o daños.

Gobernanza (governance): Concepto amplio e inclusivo de toda la gama de medios existentes para acordar, gestionar, aplicar y supervisar políticas y medidas. Mientras que el término gobierno se refiere estrictamente al Estado-nación, el concepto más amplio de gobernanza reconoce la contribución de los distintos niveles de gobierno (mundial, internacional, regional, subnacional y local), así como la función del sector privado, los actores no gubernamentales y la sociedad civil al abordar los numerosos tipos de cuestiones a que se enfrenta la comunidad mundial.

Impacto: Consecuencias de los riesgos materializados en los sistemas humanos y naturales, donde los riesgos provienen de las interacciones entre los peligros relacionados con el clima (incluidos los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos), la exposición y la vulnerabilidad. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud y bienestar, ecosistemas y especies, bienes económicos, sociales y culturales, servicios (incluidos los servicios ecosistémicos) e infraestructuras. También pueden denominarse consecuencias o resultados.

Incertidumbre (uncertainty): Estado de conocimiento incompleto que puede deberse a una falta de información o a un desacuerdo con respecto a lo que es conocido o incluso cognoscible. Puede reflejar diversos tipos de situaciones, desde la imprecisión en los datos hasta una definición ambigua de un concepto o término, una comprensión incompleta de los procesos críticos, o una proyección incierta del comportamiento humano. En este estudio queda reflejado a través de los Niveles de Confianza.

Institución (institution): Las instituciones son reglas y normas compartidas por los agentes sociales que orientan, restringen y conforman la interacción humana. Las instituciones pueden ser formales, como las leyes y las políticas, o informales, como las normas y convenciones. Las organizaciones evolucionan y actúan en respuesta a los marcos institucionales y los incentivos existentes en dichos marcos. Las instituciones pueden orientar, restringir y conformar la interacción humana mediante el control directo, incentivos y procesos de socialización.

Irreversibilidad (irreversibility): El estado perturbado de un sistema dinámico se define como irreversible en una determinada escala temporal si la escala del tiempo necesario para que el sistema se recupere partiendo de ese estado mediante procesos naturales es considerablemente mayor que la del tiempo consumido para alcanzar ese estado perturbado.

Maladaptación/Malas medidas adaptativas (maladaptive actions/maladaptation): Medidas que pueden conducir a un mayor riesgo de resultados adversos en relación con el clima, por ejemplo, a través de un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, a una mayor vulnerabilidad al cambio climático o a un menor bienestar, en el presente o en el futuro. La mala adaptación generalmente es una consecuencia imprevista.

Mitigación (del cambio climático) (mitigation (of climate change)): Intervención humana destinada a reducir las emisiones o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero.

Modelo climático (climate model): Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas.

Neutralidad climática (climate neutrality): Concepto referido a un estado en el que las actividades humanas no provocan un efecto neto en el sistema climático. En este estudio se aplica principalmente neutralidad de carbono, donde las emisiones son compensadas por captura de CO2 y el balance es 0.

Peligro (Hazard): En el ámbito de los análisis de riesgos asociados al cambio climático y, por tanto, el seguido a lo largo de este informe, el concepto de peligro hace referencia al potencial de que un fenómeno climático o proceso físico, como un evento extremo (inundaciones, olas de calor, tormentas, sequías) o una tendencia gradual (aumento del nivel del mar, desertificación), cause daños a personas, infraestructuras, ecosistemas o actividades socioeconómicas. Según el marco conceptual del IPCC, que es la base metodológica que sustenta el trabajo presentado en esta revisión, el peligro no se limita a describir la existencia del fenómeno, sino que incorpora tanto sus características físicas (magnitud, duración, intensidad) como su probabilidad de ocurrencia, de forma que constituye un elemento dinámico dentro de la evaluación del riesgo climático. Este enfoque permite integrar la información científica más actualizada sobre escenarios de cambio climático y proyecciones de eventos extremos en los procesos de planificación y adaptación.

Cabe señalar que, en otros contextos, como la ingeniería, la seguridad física o la ciberseguridad, el término amenaza se utiliza para describir un factor externo o desencadenante que puede activar un peligro latente. Sin embargo, en el análisis de riesgos de cambio climático conforme al enfoque del IPCC, la amenaza se encuentra conceptualmente subsumida dentro de la definición de peligro, por lo que su uso separado no resulta necesario ni recomendable para evitar ambigüedades terminológicas.

Percepción del riesgo (risk perception): Criterio subjetivo que tienen las personas sobre las características y la gravedad de los riesgos.

Proyección climática (climate projection): Una proyección climática es una respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, que generalmente se obtiene de simulaciones mediante modelos climáticos. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas por su dependencia del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo utilizado, que se basa en supuestos relativos a, por ejemplo, un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse.

RCP: Abreviatura de “Representative Concentration Pathways” o “Trayectorias de Concentración Representativas”, concepto desarrollado por el IPCC para reflejar trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera asociado a un forzamiento radiativo (medido en vatios por metro cuadrado). Los RCP más comunes son RCP 2.6 (reducción drástica de emisiones), RCP 4.5 (emisiones con punto máximo alrededor del 2040), y RCP 8.5 (altas emisiones, sin mitigación significativa).

Resiliencia (resilience): Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosos respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Riesgo: En el marco de la evaluación de los impactos del clima, el término riesgo hace referencia al potencial de consecuencias adversas de un peligro relacionado con el clima, o de las respuestas de adaptación o mitigación a dicho peligro, en la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos), y la infraestructura. Los riesgos se derivan de la interacción de la vulnerabilidad (del sistema afectado), la exposición a lo largo del tiempo (al peligro), así como el peligro (relacionado con el clima). Los peligros, la exposición y la vulnerabilidad pueden estar sujetos a incertidumbre en términos de magnitud y probabilidad de ocurrencia, y cada uno de ellos puede cambiar con el tiempo y el espacio debido a los cambios socioeconómicos y a la toma de decisiones humanas.

Riesgo de Bloqueo (Encerramiento o lock-in): Situación en la que la futura evolución de un sistema, incluidas las infraestructuras, tecnologías, inversiones, instituciones y normas de comportamiento, está determinada o confinada por el desarrollo histórico.

Riesgo Clave (RC): Los riesgos clave son aquellos potencialmente graves que pueden generar impactos en el presente y cuya severidad podría aumentar con el tiempo debido a cambios en la naturaleza de los peligros, en la exposición o en la vulnerabilidad de los elementos analizados frente a dichos peligros. En este estudio, los riesgos clave se identifican de manera comparada intrasectorialmente de riesgos relevantes a través de un análisis multicriterio que incluye los tres componentes del riesgo.

Riesgo Relevante (RR): Es un riesgo que, directa o indirectamente derivado del cambio climático, tiene el potencial de generar consecuencias adversas significativas para los sistemas humanos o ecológicos en el sector o ámbito de estudio.

Riesgos de Respuesta: El Sexto Informe de Evaluación introduce el concepto de riesgos de respuesta, que hace referencia a los riesgos derivados de las estrategias de gestión del cambio climático, incluyendo tanto sus consecuencias imprevistas como su impacto a largo plazo en el sistema climático y en la sociedad. Estos riesgos pueden surgir cuando las medidas implementadas no alcanzan los resultados esperados, generan efectos adversos adicionales que agravan el resto de las componentes del riesgo o interactúan de manera dinámica entre sí o con otros riesgos. Maladaptacion, riesgos de bloqueo, efectos no previstos de medidas de descarbonización o adaptación (por incertidumbre, adopción de tecnologías, efectividad, etc.), o riesgos de transición, son algunos de los conceptos que se engloban dentro de riesgos de respuesta. La literatura existente todavía no está aplicando este concepto de manera consistente o coherente, por lo que en esta evaluación los riesgos se representan con la trilogía "clásica" de peligro-exposición-vulnerabilidad, y los riesgos de respuesta se analizan dentro de los aspectos transversales.

Riesgos subyacentes: Factores o condiciones estructurales que contribuyen a la generación o aumento del riesgo climático y pueden determinar la magnitud de los impactos. Dentro de la evaluación ERICC se diferencian de los factores de vulnerabilidad por su relación indirecta a los elementos expuestos.

Sistemas de alerta temprana (early warning systems (EWS)): Conjunto de capacidades técnicas, financieras e institucionales que se necesitan para generar y difundir, de forma oportuna y fidedigna, información sobre avisos destinada a permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones amenazadas por un peligro se preparen a actuar con prontitud y de forma adecuada, con el fin de reducir la posibilidad de que se produzca un daño o una pérdida.

SSP: Abreviatura de Shared Socioeconomic Pathways, son trayectorias socioeconómicas compartidas desarrolladas por el IPCC para explorar cómo diferentes futuros posibles en términos de desarrollo social, económico. Estos escenarios narrativos y cualitativos van desde el SSP1 (desarrollo sostenible, con baja desigualdad, alta inversión en educación y salud, y bajo uso de recursos) al SSP5 (Crecimiento económico rápido basado en combustibles fósiles, con alta demanda energética y emisiones muy elevadas).

Umbral crítico: Los umbrales críticos representan niveles a partir de los cuales hay un cambio en las dinámicas del riesgo pudiéndose sobrepasar la capacidad de adaptación. A diferencia de Punto Crítico (tipping point), no se asume la irreversibilidad y hay posibilidad de volver al estado inicial. Se pueden considerar los umbrales críticos a lo largo de cuatro dimensiones:

- Umbrales biofísicos, rangos y límites del medio natural (incluyendo la biología humana).
- Umbrales ingenieriles, estándares y tolerancias de bienes ante parámetros climáticos.
- Umbrales de desarrollo, donde acciones pierden su efectividad a partir de un punto crítico y se requiere un cambio de opción o estrategia.
- Umbrales de políticas públicas, establecidos legislativamente o vía regulaciones, y que indican niveles de riesgo aceptables o asumibles en el ámbito sociopolítico.

Uso de la tierra (land use): El término "uso de la tierra" denota el conjunto de disposiciones, actividades e insumos (conjunto de actividades humanas) adoptados para cierto tipo de cubierta terrestre. Este término se utiliza también en el sentido de los fines sociales y económicos que persigue la gestión de la tierra (p. ej., pastoreo, extracción y conservación de madera y viviendas urbanas).

Vulnerabilidad: Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

ericc

Evaluación de Riesgos
e Impactos derivados del
Cambio Climático en España

GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO