

REDD



N°10

cambio global

BOLETÍN DE LA RED DE SEGUIMIENTO DEL CAMBIO GLOBAL EN PARQUES NACIONALES



GOBIERNO DE ESPAÑA

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

ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES





Joan Antolín

CRÉDITOS

Boletín de la Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales.
Número 10. Año 2022. 39 páginas.

<https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/boletin.aspx>

Aviso Legal:

Los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.



Edición:

Oficina Española de Cambio Climático.

Realización y coordinación:

Organismo Autónomo Parques Nacionales.

Imprenta: Namac Comunicación S.L.

Fotografías:

Archivo del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici / Autores de los artículos.

Portada:

Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Joan Mercader.

Comité editorial:

Jesús Serrada Hierro y Jorge Bonache (OAPN), Francisco Jorge Heras Hernández y María Salazar Guerra (OECC), Cristina González-Onandía Guerrero (FB).

Coordinación:

Jordi Vicente i Canillas (Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici).
Arantxa Manjón (Alten).

NIPO: 665-20-097-5

Depósito Legal: M-28921-2022

El programa de Seguimiento del Cambio Global en la Red de Parques Nacionales es una iniciativa del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico que coordina el Organismo Autónomo Parques Nacionales y donde participan la Oficina Española de Cambio Climático, la Fundación Biodiversidad y la Agencia Estatal de Meteorología.

ÍNDICE

EDITORIAL

3

REFLEXIONES GLOBALES

4

PARQUES NACIONALES: OBSERVATORIOS DEL CAMBIO GLOBAL

6

Red de Seguimiento del Cambio Global en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

6

Investigaciones

7

Infraestructura europea de investigación socioecológica y de ecosistemas a largo plazo, eLTR H2020

Proyecto AEROSMIC: Seguimiento de la dispersión de largo alcance y potencial colonizador de microorganismos aerotransportados en masas de polvo sahariano

Neveros y turberas, ecosistemas sensibles al cambio global

Proyectos en ejecución en el marco de la Red de Seguimiento del Cambio Global en parques nacionales

Actividades de difusión

18

ESPECIAL AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI

20

Cambio global: la visión del gestor

Cambio global: la visión del investigador

PARÁMETROS DE CAMBIO

24

LACEN: Lagos Centinela de Cambio Global en los parques nacionales

La flora de los lagos del Pirineo 30 años después: respuesta a las presiones y amenazas de cambio global

EXPERIENCIAS DESTACADAS

28

LIFE+ LIMNOPIRINEUS: Proyecto de conservación de hábitats y especies acuáticas de la alta montaña del Pirineo

Sistema de Parcelas de Seguimiento de la Biodiversidad Terrestre en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (SISEBIO)

El seguimiento a largo plazo del paisaje del pasado. La investigación paleoambiental del Estany de la Bassa

NOVEDADES

35

Monitoreo y modelización integrados en un sistema de alerta de la vulnerabilidad climática en bosques de montaña (MODOSIN)

PUBLICACIONES

38



Juan José Azurmendi

El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici constituye una muestra representativa de los ecosistemas pirenaicos de alta montaña, con un paisaje dominado por las formas glaciares generadas en el Cuaternario, así como un escenario lacustre en el que abundan los lagos o *estany*s que le dan nombre, y los ríos y meandros que forman estos últimos, las llamadas *aigüestortes*. Igualmente característicos son los valles en forma de U, producto de la acción erosiva de los glaciares. Ello propicia la existencia de una gran variedad de hábitats que sirven de refugio a multitud de especies de flora y fauna, muchas de ellas endémicas, en peligro de extinción o protegidas.

La vegetación forma un mosaico de notable diversidad típicamente pirenaico, con bosques de hayedos, bosques mixtos caducifolios, bosques de abedules, pinares de pino silvestre y de pino negro, matorrales y turberas. Este paisaje alpino es de gran interés fitogeográfico, con extensas comunidades endémicas de los Pirineos. La fauna es la típica de la alta montaña, aunque en las zonas más bajas se encuentran especies de fauna mediterránea. Si los vertebrados ocupan un importante lugar por el número de taxones, también hay que resaltar entre la fauna del parque nacional la presencia de especies de moluscos que se encuentran de forma relicta en los Pirineos, o bien que no se encuentran en el resto del macizo, así como especies raras de coleópteros.

Respecto al monitoreo, son de destacar los trabajos realizados en el Nodo LTER Aigüestortes y a través de los diferentes programas sobre el seguimiento funcional, sociológico y ecológico de la Red de Parques Nacionales. Se han desarrollado los programas SACRE, SACIN y SOCC, a través de los cuales se viene realizando desde los años 80 la revisión de las masas forestales, detectando la evolución de las mortalidades y afecciones por distintos agentes. La aplicación a este parque del seguimiento de los índices de la productividad primaria mediante teledetección (sistema REMOTE) junto con la disponibilidad de una herramienta de detección temprana de especies exóticas invasoras (“Invasores”) desarrollados para toda la Red, ayudan a detectar los procesos de cambio global que se van visibilizando en todo el medio natural y en la Red de Parques Nacionales de una manera singular.

El seguimiento de los parámetros meteorológicos constituye adicionalmente una valiosa fuente de información que poder poner en relación con otros seguimientos de ámbito biológico o ecológico. La monitorización de las poblaciones indicadoras de la salud de los ecosistemas es otro de los objetivos de un parque nacional como este, incluido en el Convenio de Ramsar, dedicado a la conservación y el uso racional de los humedales. El desarrollo de numerosos proyectos de investigación en el entorno de este parque nacional ha contribuido a aumentar el conocimiento de los importantes procesos que tienen lugar en este entorno pirenaico.

Con la mirada puesta en el futuro y valorando todo el trabajo realizado estos años, el parque afronta diversos retos para seguir evolucionando como garante de un medio natural de especial belleza y valor. El principal reto es seguir encontrando las herramientas adecuadas de adaptación para encajar las nuevas demandas de la sociedad hacia la Naturaleza, con los objetivos esenciales de protección y conservación de sus valores naturales y culturales en un entorno de cambio global.

Comité Editorial



El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici como espacio natural para la investigación

María Merced Aniz Montes

Directora-Conservadora del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici



Jordi Catalan

Investigador del Centro de Investigación en Ecología y Aplicaciones Forestales (CREAF). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)



Con más de 65 años desde su declaración (21 de octubre de 1955), los retos y necesidades del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici han ido ajustándose a los cambios sociales, económicos y políticos de este período. Como su nombre recoge, nació por los valores paisajísticos y naturales relacionados con los ambientes acuáticos, no en vano se encuentra en la zona de mayor concentración de lagos de los Pirineos, siendo uno de los pocos parques de montaña incluido en el convenio RAMSAR. No obstante, los límites del parque y su zona periférica de protección albergan una amplia gama de ecosistemas de montaña representados en los pisos de vegetación a partir de 1600 m de altitud y multitud de ambientes asociados a la compleja orografía de la alta montaña.

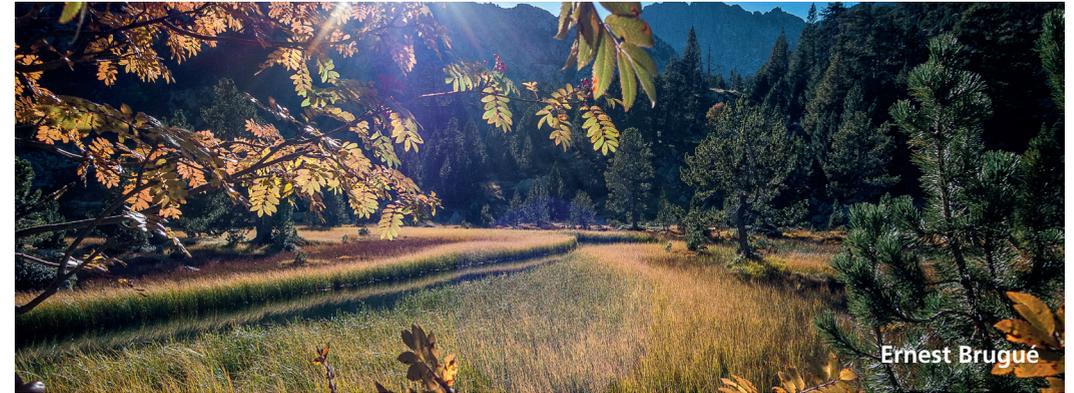
El parque probablemente nació con la contingencia del desarrollo de la explotación hidráulica a mediados del siglo XX en muchos valles de los Pirineos centrales, que atrajo la atención sobre esos paisajes en círculos de poder de la época. Habían existido antecedentes desde principios de siglo que no prospera-

ron. Tal como ha ocurrido con los diferentes intentos de ampliación de la zona estricta de parque a causa de los diferentes intereses económicos de la zona. En esos momentos iniciales, la gestión supuso poco más que su delimitación. Paulatinamente, su gestión se fue regularizando según el desarrollo legislativo y social acorde con lo que suponen los objetivos de conservación de los parques nacionales. Paradójicamente, aquello que ayudó a su fundación se convirtió en uno de los mayores problemas de gestión y que atrajo también estudios sobre los impactos de este tipo de explotación de recursos y propuestas para gestionarlos. Su presencia continúa condicionando la gestión del parque y una reconversión en un futuro cercano es incierta.

La redacción del primer Plan Rector de Uso y Gestión (1993) fue un acicate para reunir toda la información existente sobre estudios realizados por grupos de universidades, centros de investigación y asociaciones de la naturaleza de forma independiente. Esto fue la base para su zonificación y delimitación de reservas integrales.

Las Jornadas sobre investigación del parque, que recientemente celebraron su XII edición, han servido para regularmente mantener en contacto los investigadores con los gestores, pero también entre ellos. A diferencia de los congresos de las distintas disciplinas, las Jornadas permiten un marco de interacción realmente interdisciplinar difícil de encontrar en otros contextos y también muy estrictamente relacionado con un territorio concreto.

Los retos que se avecinan con el cambio climático que se está produciendo, requieren de un conocimiento profundo de los sistemas naturales y una perspectiva histórica. El parque no ha podido disfrutar de seguimientos formales de sus ecosistemas y organismos, más allá de algunos inventarios y censos de flora y fauna estrictamente relacionados con una gestión básica, por falta de recursos humanos especializados y económicos. No obstante, la existencia del espacio protegido ha



canalizado y aglutinado el esfuerzo repetido a lo largo de años de grupos de investigación que han centrado muchos de estos estudios en el parque nacional. Una parte de los estudios se han nutrido de la financiación de las convocatorias del Organismo Autónomo Parques Nacionales, pero también de proyectos de los planes nacionales de investigación y programas europeos. El solapamiento temporal y espacial de muchos estudios ha ido convirtiendo al parque en un espacio no sólo de conservación sino también de investigación, tal como establece la ley declarativa.

La naturaleza de los estudios, en muchos casos, han ido asociados a los sucesivos focos del cambio global. Así, temas relacionados con la acidificación por contaminación atmosférica a larga distancia, la acumulación de contaminantes orgánicos en zonas frías, el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera, o el cambio climático en el que estamos inmersos, se han ido sucediendo. Algunas de las series que se han ido acumulando, formalmente no asociadas a ningún programa, sobresalen internacionalmente, como las relacionadas con la composición química de las aguas, o el flujo atmosférico de microorganismos. El reconocimiento de la necesidad de la investigación a largo plazo de la dinámica ecológica, ampliamente reconocida, pero escasamente financiada, ha conducido a la creación de asociaciones privadas, como LTER-Aigüestortes, para intentar potenciarlas.

El parque nacional no se delimitó en un espacio natural prístino. Todo lo contrario, los paisajes que lo integran son fruto de una histórica relación entre naturaleza y las sociedades que se han desarrollado en su entorno. Esta relación es también uno de los focos de investigación. Sobre todo se fundamenta en dos líneas con una ya larga trayectoria. Por un lado, lagos y turberas albergan en sus sedimentos un registro que se remonta a los orígenes postglaciales del paisaje actual y recoge las circunstancias cambiantes relacionadas con el clima y la propia dinámica socioeconómica de las sociedades de montaña. Por otro lado, la montaña está atestada de restos arqueológicos, que al estudiarlos han ofrecido una historia de los paisajes de montaña mucho más vinculada a los hechos que al relato, facilitando la gestión y la divulgación.

Los años venideros están plagados de incertidumbres, los objetivos tradicionales de la conservación se han visto superados por las previsiones de cambio climático y su incidencia en los sistemas naturales y socioeconómicos. La gestión se debe orientar a gestionar el cambio de la forma menos convulsa posible. Para ello, el conocimiento de los procesos en los sistemas naturales que lo integran y el seguimiento de indicadores clave resultan fundamentales y la mejor herramienta de conservación que redundará en nuestra salud y la de futuras generaciones.



Red de seguimiento del cambio global en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

<https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/red-seguimiento/default.aspx>

El objetivo de la Red de Seguimiento del Cambio Global en Parques Nacionales es la toma de datos "in situ" con el fin de detectar la variabilidad climática y evaluar posibles efectos en las dinámicas naturales de los ecosistemas.

A finales de 2018 esta Red fue ampliada gracias a los fondos del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático (PIMA-Adapta) de la Oficina Española de Cambio Climático, con la instalación de la estación meteorológica "Estany de Llebreta" en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici.

Estany de Llebreta se encuentra ubicada en el municipio de Vall de Boí (Lleida) cerca del Estany de Llebreta a 1.696 m de altitud. Al igual que el resto de estaciones meteorológicas de la Red, se trata de una estación automática que registra datos de las variables esenciales de observación en superficie: velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad del aire, presión atmosférica, radiación solar y pluviometría, según los criterios del Sistema de Observación del Clima Global (GCOS, por sus siglas en inglés).

La incorporación de esta estación nos ayudará a entender el alcance de los riesgos climáticos, así como a diseñar propuestas de adaptación adecuadas ante fenómenos del cambio global.



Estación meteorológica Estany de Llebreta.

Investigaciones

Infraestructura europea de investigación socioecológica y de ecosistemas a largo plazo. eLTR H2020

Josep Anton Morguí
Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona



Esperança Gacia Pasola
Centro de Estudios Avanzados de Blanes. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)



Los estudios ecosistémicos con la intención de generar series de datos a largo plazo empezaron en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNASM) desde mediados de los años 80 del siglo XX, obteniéndose así distintas series de medidas tanto de biodiversidad como de características físicas y químicas en los sistemas terrestres y acuáticos. Las medidas integradoras del metabolismo, como las concentraciones atmosféricas de CO₂, se iniciaron en la zona cercana al Estany Llong (valle de Sant Nicolau) en 2008 y siguieron hasta el 2016, de forma que se han podido establecer los valores de fondo -anual y estacional- y su comparación con las series de las estaciones de fondo europeas. Por su situación en altitud, la variabilidad observada en la serie de datos de CO₂ del Estany Llong sigue el patrón del transporte de los observatorios en Mace Head (Irlanda) y permite distinguir los episodios de aumento o disminución de origen local, especialmente en verano, asociados con los picos estacionales de respiración o producción neta.



Torre ubicada en el Estany Llong d'Aigüestortes de la que se recogieron las muestras bimensuales para la serie de medidas de CO₂ de 2008 a 2016.

Se ha obtenido también una serie de datos de medidas en continuo de CO₂ en una zona periférica del parque (estación de medida en el Centre de Recerca d'Alta Muntanya -CRAM-, en el Valle de Conangles), y que ha resultado influida especialmente por la red viaria (principalmente por el túnel de Vielha) que concentra el CO₂ proveniente de la circulación rodada y que es transportado por los vientos anabáticos y catabáticos. La pluralidad de estudios en serie nos ha dado así un estudio del metabolismo propio del parque que sirve de referencia para comprender la magnitud y el origen de la variabilidad ante futuras actuaciones de medida del metabolismo integrado. Asimismo, en los pasados años se ha usado la medida del intercambio de CO₂ en suelos, mediante sistemas de análisis portables y económicos, como medidas puntuales y localmente específicas en distintas localidades del parque que son un complemento a añadir a los estudios a largo plazo de procesos muy sensibles a las condiciones climáticas sobre la respiración y la producción, al tiempo que permiten estudiar también el intercambio de vapor de agua y condensación.





Cámara de incubación portátil para medidas puntuales de intercambio de CO₂ en suelos.

En el marco del proyecto LTER hemos participado también en dos experimentos diseñados a escala global para estudiar la retención de carbono en suelos y sedimentos del parque nacional mediante medidas de las tasas de descomposición de materia orgánica *in situ* (TeaComposition, a global litter decomposition initiative). El protocolo experimental es simple: bolsas de té de una misma partida (té verde y té rooibos para simular materia orgánica lábil y refractaria, respectivamente) se colocan en el suelo y la pérdida de masa se sigue a lo largo del tiempo. Si el té se conserva (pérdida mínima de masa), entonces el ecosistema representa un excelente ambiente para la preservación del carbono. La iniciativa fue diseñada como un enfoque ampliamente aplicable y permite obtener datos de gran valor para la previsión de la conservación del carbono en suelos y zonas húmedas ante escenarios de cambio global. En el PNASM se han obtenido también tasas de pérdida de biomasa de material local para su comparación con el material estándar y cuyas tasas de descomposición se ha visto que varían dependiendo de la calidad del material y la altitud de las parcelas experi-

mentales. Los experimentos se han realizado en tres praderas subalpinas mixtas situadas a 2046, 1898 y 1680 m s.n.m. entre los meses de julio de 2016 y 2019, y en sedimentos del estany de Plan en el valle de Colomers (Valle de Arán; TeaComposition_H2O, Global Wetland Decomposition Initiative) de julio de 2017 a 2020. Estos experimentos realizados a partir de materia orgánica estandarizada han servido para integrar las condiciones de descomposición en el parque con datos de toda la Tierra promovidos dentro de ILTER (International Long-Term Ecological Research).

A las bases de datos repitiéndose en distintos períodos a lo largo de los estudios sobre el funcionamiento de poblaciones, redes tróficas y ecosistemas del parque, se unen estos estudios integradores que sirven a la gestión especialmente por su visión LTSER (Long-Term Socio-Ecological Research) sobre la biodiversidad y su dinámica.



Prado subalpino con las muestras de *TeaDecomposition*.

Investigaciones

Proyecto AEROSMIC: Seguimiento de la dispersión de largo alcance y potencial colonizador de microorganismos aerotransportados en masas de polvo sahariano

Emilio Ortega Casamayor
Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CSIC)



La dispersión a escala global de microorganismos es un fenómeno ubicuo y los bioaerosoles que se originan de diferentes fuentes terrestres y marinas (p. ej., desiertos, océanos, bosques, áreas agrícolas y urbanas) se inyectan continuamente en altitudes atmosféricas elevadas, alcanzan la troposfera libre, permanecen suspendidas durante días y son transportadas a larga distancia por el

viento antes de ser arrastradas por la precipitación (lluvia y nieve) o la deposición seca y ser vertidas sobre ecosistemas remotos. Los microbios aerotransportados que viajan con éxito entre continentes son más diversos de lo que se pensaba inicialmente, incluyendo microorganismos patógenos.

Estos flujos de aerosoles biológicos primarios se consideran un aspecto crítico en la conectividad y resiliencia ecológica entre biomas dadas las capacidades microbianas para explotar nichos ecológicos favorables. La troposfera es la capa atmosférica más baja que contiene el 75% de su masa molecular y gaseosa, así como la mayor parte del vapor de agua y las partículas atmosféricas. Incluye, por un lado, la capa límite atmosférica que está en contacto directo con la superficie de la Tierra y, por el otro, la troposfera libre que es de gran relevancia para la dispersión regional y global debido a las corrientes de aire de largo alcance. El proyecto AEROSMIC explora cómo la influencia de las deposiciones troposféricas varía a lo largo de diferentes gradientes ambientales y geográficos. Este potencial de colonización podría aumentar en el futuro bajo el impacto del cambio climático y los cambios en el uso de la tierra, que derivan en una intensificación de las emisiones globales de material aerosolizado (Figura 1).

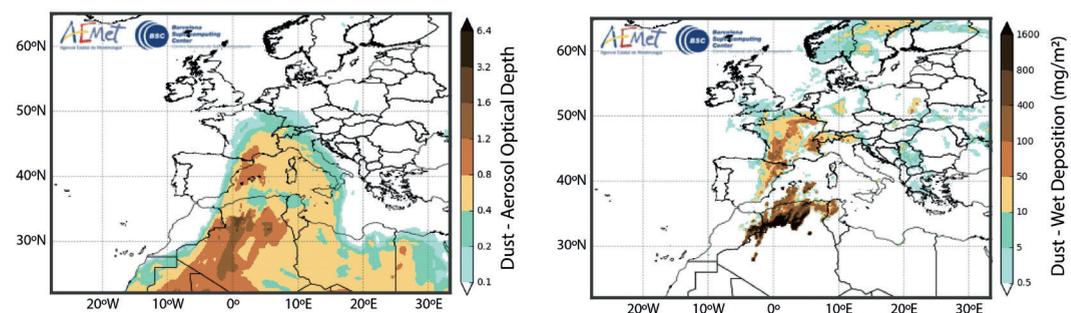


Figura 1. Contexto del proyecto AEROSMIC. Mapas de previsión de intrusiones de afectaciones para el norte de África, Oriente Medio y Europa a partir del modelo multiescala no hidrostático (NMMB/MONARCH; <http://dust.aemet.es>) para un evento de intrusión de polvo del Sahara (19 de junio de 2021), según densidad óptica (panel izquierdo) y deposición húmeda de aerosol (panel derecho). Los episodios de intrusión de polvo sahariano afectan con frecuencia, entre otros, a los ecosistemas modelo naturales pirenaicos objeto de estudio en AEROSMIC.



El conocimiento de las respuestas biológicas a estas intrusiones y las implicaciones de la colonización microbiana a larga distancia en ecosistemas de gran valor ecológico son escasas. Los lagos de gran altitud son un buen sistema modelo para discernir la influencia de los inmigrantes locales (cuencas) y remotos (aéreo de largo alcance). El proyecto AEROSMIC explora la hipótesis de que, a mayores altitudes, donde la influencia de las fuentes locales es menor (por ejemplo, por encima de la línea de árboles, donde existe un menor grado de conectividad, menor desarrollo del suelo, menor área de captación, etc.) se detectará un mayor efecto de los inmigrantes remotos. De este modo, utilizamos los lagos alpinos "prístinos" de mayor altitud (por encima de la capa límite

de mezcla, en la zona de la troposfera libre) como sistemas centinela para detectar la dispersión de largo alcance intercontinental. La presencia de estos colonizadores remotos (incluyendo microorganismos potencialmente patógenos) recolectados mediante colectores pasivos e identificados en el microbioma global alpino presente en el distrito lacustre pirenaico (más de 300 lagos censados, Figura 2) permite estimar el impacto y la resiliencia de estos ecosistemas. Además, realizamos estudios manipulativos con pequeños mesocosmos para probar experimentalmente los efectos potenciales de las entradas de polvo en el ensamblaje de la comunidad microbiana nativa y evaluar la capacidad de colonización exitosa de los taxones inmigrantes.

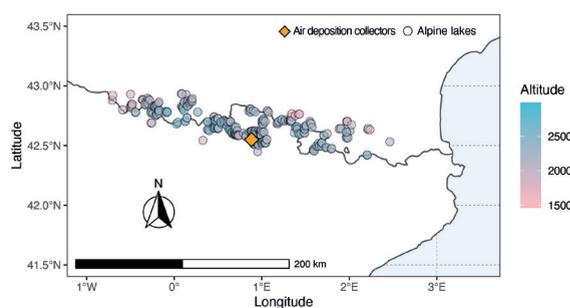


Figura 2. Distribuciones altitudinales de diferentes lagos alpinos (conjunto de ambientes en el distrito lacustre de los Pirineos que van desde longitudes 0°42'21,6" O a 2°27'45,9" E y latitudes 42°25'10,0" N a 42°56'06,4" N) y localización de colectores de deposiciones atmosféricas en el punto LTER-Aigüestortes (Long-Term Ecological Research) localizado aproximadamente a 1700 metros sobre el nivel del mar. Las partículas de polvo depositadas se recogen en los colectores pasivos seco/húmedo que aparecen en la imagen y el material depositado es homogeneizado y concentrado por filtración para proceder posteriormente al análisis del material genético con técnicas de secuenciación de ADN y bioinformáticas avanzadas.

Investigaciones

Neveros y turberas, ecosistemas sensibles al cambio global

Josep M. Ninot, Estela Illa, Aaron Pérez Haase y Empar Carrillo
Instituto de Investigación de la Biodiversidad de la Universidad de Barcelona (IRBio)



Los valores naturales de la alta montaña se deben principalmente a la abrupta fisiografía responsable de que, incluso en pequeñas distancias, se den fuertes contrastes ambientales. Como resultado, y por encima de la dureza generalizada de condiciones, la alta montaña reúne hábitats muy contrastados, separados por acusados gradientes ecológicos.

A causa de los cambios climáticos cuaternarios, los distintos elementos de flora y fauna se vieron forzados a migrar por toda Europa, y encontraron en el mosaico ambiental de las montañas alpinas un posible refugio. Una parte de estos elementos subsisten aprovechando micro (o meso) ambientes de montaña, al lado de taxones endémicos originados allí fruto del aislamiento biogeográfico. Así se entiende que los pastos alpinos tengan fuerte herencia de las tundras árticas; que los roquedos y pedrizas concentren biota singular, en parte endémica; que los neveros mantengan comunidades ártico-alpinas adaptadas a veranos cortos; o que los humedales contengan notables comunidades afines a las turberas boreales y atlánticas.

El conjunto de este rico mosaico ha respondido a distintos cambios climáticos de manera diversa. Algunas especies han compensado los cambios desplazando su hábitat dentro del sistema montañoso –en altitud, por ejemplo–, otras parecen mantenerse con pocos cambios, y otras han visto progresivamente reducidas sus poblaciones. Las plantas de neveros y de turberas se encuentran en este caso, dentro del contexto del cambio climático actual. La tendencia a menores acúmulos de nieve y a veranos más cálidos y secos lleva a la retracción o a la limitación temporal de neveros y de suelos anegados, que ya de por sí ocupan reducidas superficies en la



Aspecto general del nevero de Ratera, donde la cinta métrica simboliza el gradiente de fusión de nieve, más temprana en el pasto periférico y más tardía hacia las paredes graníticas, donde las condiciones ambientales son más restrictivas.





Albert Petit

Algunas especies especialistas, principalmente las menos competitivas o de ciclo más corto (como *Sedum candollei*) han visto notablemente mermada su población durante las dos últimas décadas.

alta montaña. Y es esperable que las plantas especialistas de dichos ambientes cedan espacio a especies propias de los pastos adyacentes, y que eventualmente desaparezcan al menos a escala local.

Con el fin de documentar y analizar los posibles cambios ambientales y de vegetación en neveros, a partir de 2003 establecimos transectos permanentes en distintas localidades del parque nacional. Cada uno consiste en una línea directriz, fijada con piquetas metálicas, en el sentido del gradiente de fusión de la nieve. A lo largo de dicha línea se analizó la vegetación en base a inventarios minuciosos de pequeñas superficies rectangulares (10 x 50 cm) aquel primer año y una década después (entre 2012 y 2015, según localidades). En paralelo, algunas de las estaciones de muestreo se equi-

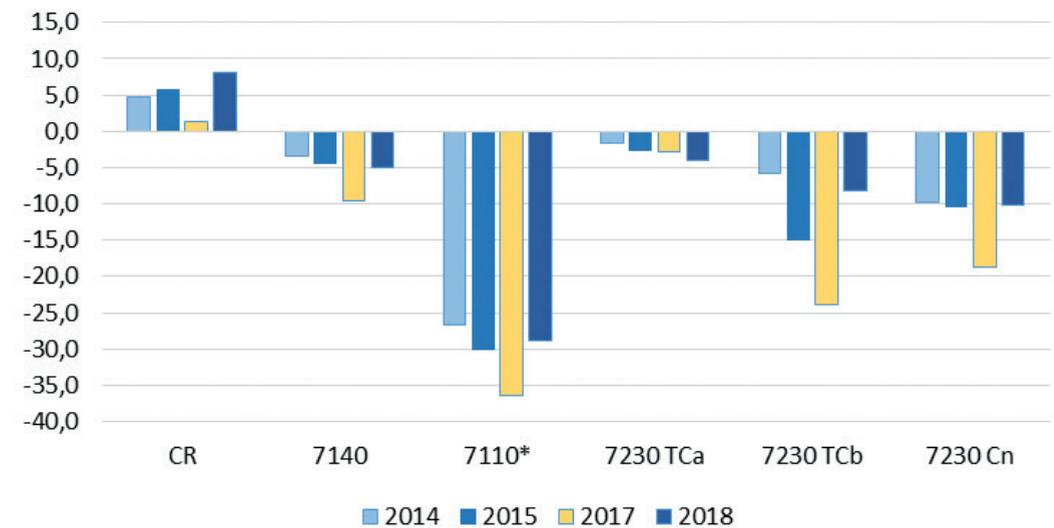
paron con sensores de temperatura a ras de suelo, a fin de conocer el calendario de fusión de la nieve y la dinámica térmica durante el período de vegetación. Tanto la fusión de la cubierta nivosa como las condiciones térmicas veraniegas muestran fuerte variabilidad entre años, aunque con un aparente incremento de los veranos con fusión temprana de la nieve y temperaturas elevadas.

Al mismo tiempo, la vegetación manifiesta algunos cambios relativamente rápidos. Así, las especies específicas de nevero menos competitivas, o de ciclo de vida paucianual (como *Sedum candollei*, *Cardamine bellidifolia* subsp. *alpina* o *Cerastium cerastoides*) disminuyeron su abundancia entre 2003 y 2013, y en algunas localidades siguen la misma tendencia durante los últimos años. En su lugar,

incrementan la cobertura algunas plantas generalistas de pasto que suelen medrar en los neveros (como *Nardus stricta* o *Poa alpina*). Al mismo tiempo, otras especialistas mantuvieron sus posiciones a través de los altibajos ambientales entre años, aparentemente gracias a su estructura más persistente (caso del sauce enano *Salix herbacea*) o a un carácter más oportunista (caso de *Sibbaldia procumbens*).

Los sistemas de turbera abundan en el parque nacional, principalmente en los márgenes de arroyos o de lagos y lagunas alpinos. Siendo por lo común de reducidas dimensiones, dos de estos sistemas sobresalen por su tamaño y complejidad mayores: Bassa Nera y Trescuro. Ambos sistemas van ligados a lagunas alpinas muy notables, y constituyen áreas de especial protección. En ambos casos, hemos analizado la vegetación y distintos parámetros ambientales desde hace algunos años. En cada sistema establecimos una treintena de puntos fijos de muestreo,

cada uno marcado por un tubo de PVC clavado en la turba, que permite seguir la dinámica del nivel freático. En cada punto tomamos inventarios de plantas vasculares y musgos, y agua edáfica a fin de analizar su pH, conductividad eléctrica y el contenido de distintos cationes. En el caso de Trescuro, y dentro del proyecto LIFE LIMNOPIRINEUS, los inventarios se realizaron en 2014 y en 2019. Estando la vegetación de turberas formada por especies perennes y clonales, mayoritariamente en forma de césped denso, los cambios observados en la vegetación fueron mínimos. Pero el seguimiento del nivel freático permitió evidenciar un descenso general en todo el sistema durante el verano de 2017, extraordinariamente seco. También documentamos cómo los eventos de sequía afectan diferencialmente a los distintos hábitats. Esto permite prever que una mayor incidencia de estos eventos llevaría a cambios substanciales en la distribución de comunidades y especies en los sistemas de turbera.



Variación del nivel freático medio a lo largo de cuatro veranos consecutivos en distintos hábitats turbosos de Trescuro (CR, formación semi-inundada de *Carex rostrata*; 7140, turbera de transición de *C. rostrata* con esfagnos; 7110*, montículos de esfagnos; 7230 TCa, turbera calcícola de *Trichophorum cespitosum* de fondo de cubeta; 7230 TCb, turbera calcícola de *Trichophorum cespitosum* de vertiente; 7230 Cn, turbera de *Carex nigra*).



Proyectos en ejecución en el marco de la Red de Seguimiento del Cambio Global en parques nacionales

En el cuadro se relacionan los proyectos de investigación enmarcados en la Red de Seguimiento del Cambio Global en 2022.

PROYECTO	ORGANISMO	PARQUE NACIONAL	FINANCIACIÓN
HERBIVORÍA Y REGENERACIÓN NATURAL EN SISTEMAS MEDITERRÁNEOS DOMINADOS POR UNGULADOS: IMPLICACIONES PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE ANTE EL CAMBIO GLOBAL	E.T.S. DE INGENIERÍA DE MONTES, FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL	RED	OAPN
GEOLOCALIZACIÓN AUTOMATIZADA DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE RED SOSTENIBLE DE SENSORES DE BAJO COSTE Y FÁCIL DESPLIEGUE	INSTITUTO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y LA INNOVACIÓN EN COMUNICACIONES (IDETIC)	RED	OAPN
IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN LA FAUNA DE LOS PARQUES NACIONALES	INSTITUTO DE DIAGNÓSTICO AMBIENTAL Y ESTUDIOS DEL AGUA	P.N. DE DOÑANA Y P.N. DE LAS TABLAS DE DAIMIEL	OAPN
EFFECTOS DEMOGRÁFICOS Y REMEDIACIÓN DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS DE ANFIBIOS EN PARQUES NACIONALES DE MONTAÑA	MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES (MNCN)	RED	OAPN
LAGOS CENTINELAS DE CAMBIO GLOBAL EN LOS PARQUES NACIONALES: ANÁLISIS MULTIDISCIPLINAR DE LOS ÚLTIMOS 6.000 AÑOS	FACULTAD DE CIENCIAS	P.N. DE SIERRA NEVADA Y P.N. DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI	OAPN
ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE ALTA MONTAÑA: REFUGIO DE BIODIVERSIDAD OCULTA Y CENTINELAS DEL CAMBIO GLOBAL	CENTRO DE ESTUDIOS AVANZADOS DE BLANES (CEAB)	RED	OAPN
HIBRIDACIÓN COMO MOTOR DE ALTERACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN LA ERA DE CAMBIO GLOBAL: UNA PERSPECTIVA EXPERIMENTAL Y PREDICTIVA DEL FENÓMENO	FACULTAD DE CIENCIAS	RED	OAPN
LAGOS CENTINELA DE CAMBIO GLOBAL EN LOS PARQUES NACIONALES: ANÁLISIS MULTIDISCIPLINAR DE LOS ÚLTIMOS 6.000 AÑOS	FACULTAD DE BIOLOGÍA	P.N. DE SIERRA NEVADA Y P.N. DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI	OAPN
EVOLUCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD EN FONDOS MARINOS DE PARQUES NACIONALES IMPACTADOS POR ESPECIES INVASORAS Y CAMBIO CLIMÁTICO: MONITORIZACIÓN GENÉTICA Y ECOLÓGICA	CENTRO DE ESTUDIOS AVANZADOS DE BLANES (CEAB)	P.N.M.T DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA Y P.N.M.T DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA	OAPN
MONITOREO Y MODELIZACIÓN INTEGRADOS EN UN SISTEMA DE ALERTA DE LA VULNERABILIDAD CLIMÁTICA EN BOSQUES DE MONTAÑA	AGRO-CENTRO DE INVESTIGACIÓN ECOLOGÍA Y APLICACIONES FORESTALES CCT	P.N. DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI Y P.N. DE ORDESA Y MONTE PERDIDO	OAPN
PARQUES NACIONALES MARÍTIMOS VIRTUALES PARA MONITORIZACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	E.T.S. INGENIEROS INDUSTRIALES Y TELECOMUNICACIÓN	P.N.M.T DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA Y P.N.M.T DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA	OAPN
LAGOS CENTINELA DE CAMBIO GLOBAL EN LOS PARQUES NACIONALES: ANÁLISIS MULTIDISCIPLINAR DE LOS ÚLTIMOS 6.000 AÑOS. SUBPROYECTO CLIMA	FACULTAD DE TURISMO Y GEOGRAFÍA	P.N. DE SIERRA NEVADA Y P.N. DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI	OAPN
VULNERABILIDAD Y RESILIENCIA DE LOS BOSQUES MADUROS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN FORESTAL EN LOS PARQUES NACIONALES	SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA	RED	OAPN
VULNERABILIDAD Y RESILIENCIA DE LOS BOSQUES MADUROS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: IMPLICACIONES PARA LA GESTIÓN FORESTAL EN LOS PARQUES NACIONALES	INSTITUTO PIRENAICO DE ECOLOGÍA (IPE)	RED	OAPN
PARQUES NACIONALES MARÍTIMOS VIRTUALES PARA MONITORIZACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO)	P.N.M.T DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA Y P.N.M.T DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA	OAPN
DESARROLLO DE TÉCNICAS DE ADN AMBIENTAL Y MODELIZACIÓN DE NICHO PARA EL CONTROL DE ESPECIES INVASORAS Y LA CONSERVACIÓN DE LA ICTIOFAUNA EN LOS PN MEDITERRÁNEOS	MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES (MNCN)	P.N. DE CABAÑEROS Y P.N. DE MONFRAGÜE	OAPN



Proyectos en ejecución en el marco de la Red de Seguimiento del Cambio Global en parques nacionales

PROYECTO	ORGANISMO	PARQUE NACIONAL	FINANCIACIÓN
LAS CUEVAS DE HIELO DEL PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO: DINÁMICA ACTUAL ANTE EL CAMBIO GLOBAL Y RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL	INSTITUTO PIRENAICO DE ECOLOGÍA (IPE)	P.N. DE ORDESA Y MONTE PERDIDO	OAPN
CARTOGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL DEL MANTO DE NIEVE Y SU VARIABILIDAD RECIENTE EN LOS PPNN DE MONTAÑA, Y LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL HORIZONTE 2050	INSTITUTO PIRENAICO DE ECOLOGÍA (IPE)	RED	OAPN
PROLIFERACIÓN DE CIANOBACTERIAS TÓXICAS EN LOS PARQUES NACIONALES Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO. ELABORACIÓN DE PLANES DE DETECCIÓN PRECOZ Y MITIGACIÓN DE RIESGOS	FACULTAD DE CIENCIAS	P.N. DE MONFRAGÜE Y P.N. DE LA SIERRA DE GUADARRAMA	OAPN
DIVERSIDAD MICROBIANA Y BIOGEOQUÍMICA OCULTA EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COSTERAS DE LOS PARQUES NACIONALES MARÍTIMOS	INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR (ICM)	RED	OAPN
ECOLOGÍA ESPACIAL, MOVIMIENTOS Y CONECTIVIDAD DE LA POBLACIÓN DE GANGA IBÉRICA EN EL P.N. DE DOÑANA EN RELACIÓN CON LA DINÁMICA DE LA MARISMA Y LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO	ESTACIÓN BIOLÓGICA DE DOÑANA (EBD)	P.N. DE DOÑANA	OAPN
ANÁLISIS TERRITORIAL, VELOCIDAD DE CAMBIO CLIMÁTICO Y CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LA FLORA ENDÉMICA. UNA ESTRATEGIA PARA TOMAR MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN	DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA, ECOLOGÍA Y FISIOLÓGIA VEGETAL	RED	OAPN
LA ACELERACIÓN DE LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS EN LA ALTA MONTAÑA DURANTE EL ANTROPOCENO	CENTRO DE INVESTIGACIÓN ECOLÓGICA Y APLICACIONES FORESTALES CCT	P.N. DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI	OAPN
TIEMPO DE SETAS: EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS COMUNIDADES DE HONGOS DEL SUELO EN PARQUES NACIONALES DE MONTAÑA	DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE	RED	OAPN
OBSERVATORIO MARINO DEL CAMBIO GLOBAL EN LOS PARQUES NACIONALES (OBSERVATORIO TIAMAT)	INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS DE ANDALUCÍA (ICMAN)	RED	OAPN
EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PREDICCIÓN DE DAÑOS EN MASAS FORESTALES DERIVADOS DEL CAMBIO GLOBAL INTEGRANDO DATOS DE LA RED ICP- PARQUES NACIONALES Y TELEDETECCIÓN (EVIDENCE)	E.T.S. DE INGENIEROS AGRÓNOMOS Y DE MONTES	RED	OAPN
CAMBIOS EN LA FLORA ACUÁTICA DE LOS LAGOS DE LOS PIRINEOS RELACIONADOS CON EL CAMBIO GLOBAL (FLORACUA)	CENTRO DE ESTUDIOS AVANZADOS DE BLANES (CEAB)	P.N. DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI	OAPN
IMPACTO, SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y GLOBAL EN LOS RECURSOS HÍDRICOS EN PARQUES NACIONALES DE ALTA MONTAÑA	OFICINA DE ZARAGOZA	P.N. DE SIERRA NEVADA Y P.N. DE ORDESA Y MONTE PERDIDO	OAPN
INFLUENCIA ESPACIOTEMPORAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y DE LOS USOS DEL SUELO EN LA RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE AVES EN PARQUES NACIONALES DE MONTAÑA	INSTITUTO PIRENAICO DE ECOLOGÍA (IPE)	RED	OAPN
ALTERACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SECUESTRO DE CARBONO DE LOS HUMEDALES DE LA RED DE PARQUES NACIONALES EN RESPUESTA AL CAMBIO GLOBAL Y DISEÑO DE MEDIDAS PARA SU POTENCIACIÓN	MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES (MNCN)	P.N. DE DOÑANA Y P.N. DE LAS TABLAS DE DAIMIEL	OAPN
IMPACTOS, VULNERABILIDAD Y RESILIENCIA DE LA GEODIVERSIDAD Y EL PATRIMONIO GEOLÓGICO ANTE EL CAMBIO GLOBAL EN LOS PARQUES NACIONALES CANARIOS	DPTO. DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS GEOLÓGICOS	RED	OAPN
VULNERABILIDAD Y RIESGO DE LOS ECOSISTEMAS DE PINO SILVESTRE FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA Y SEGUIMIENTO	FACULTAD DE BIOLOGÍA, CIENCIAS AMBIENTALES Y QUÍMICA	RED	OAPN



Actividades de difusión

La investigación en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici como motor de conocimiento

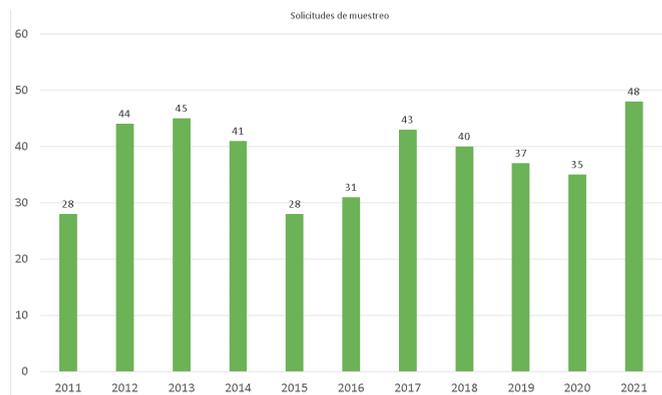
Jordi Vicente i Canillas
Técnico del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici



El propio Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del parque nacional tiene como una de sus finalidades promocionar la investigación y el desarrollo de estudios del medio natural, así como los relacionados con las actividades humanas, los efectos de la gestión y el patrimonio etnológico y cultural (https://parcsnaturals.gencat.cat/web/.content/Xarxa-de-parcs/aiguestortes/Coneix-nostra-feina/instruments-planificacio/plans-programes-especifics/pla-us-public/PDF/43_109693.pdf). Para ello, se dedica todo un artículo de esta dispo-

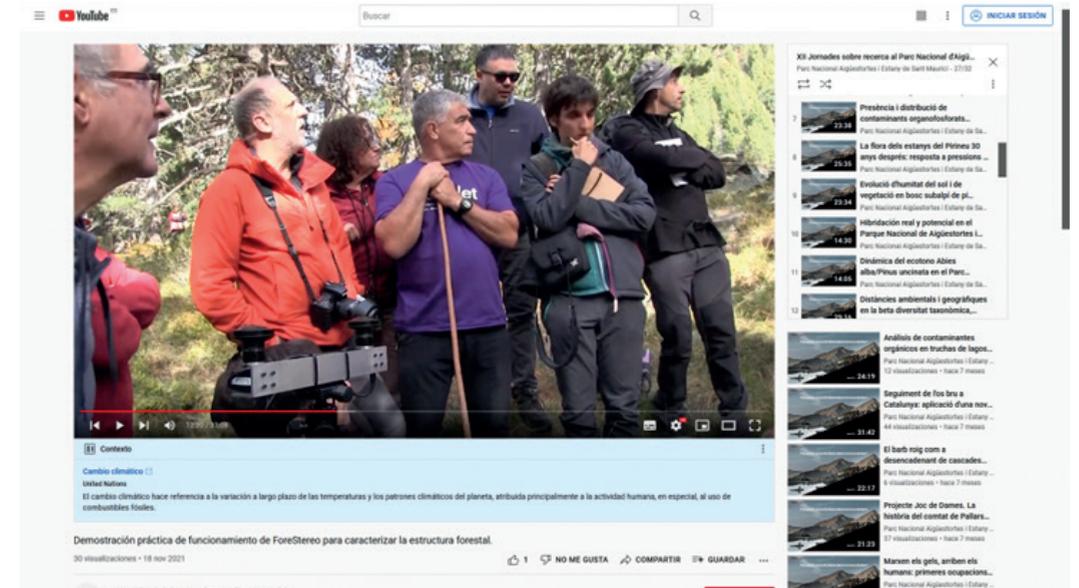
sición normativa a dar requisitos a la actividad investigadora definiendo qué se espera de dicha actividad y otro artículo específico para las funciones de la Unidad de investigación, estudios y documentación. Todas estas disposiciones llevan a un punto concreto: la investigación como una herramienta más para la gestión y la toma de decisiones del espacio natural protegido.

Según la normativa del parque, la investigación se fomentará en los valores y procesos naturales, el uso público, la relación del espacio con su entorno social y la incidencia de las actividades humanas en los sistemas naturales con el fin de contribuir a la protección y gestión del parque. De esta forma, los proyectos de investigación, así como la toma de datos y muestras que se quieran realizar serán sometidos a la autorización previa por la administración del parque. Los proyectos deben ser adecuadamente justificados hasta el punto de que se podrá contar con asesoramiento científico independiente para su evaluación. La capacidad del parque para acoger estudios de investigación es limitada y se priorizan proyectos recogidos en el PRUG. Seguidamente, se consideran los que están dirigidos a la resolución de problemas de gestión y, finalmente, los que por su naturaleza no puedan realizarse fuera del parque o requieren condiciones ambientales difícilmente repetibles fuera de éstos.



Solicitudes de muestreo de proyectos científicos 2011-2021. Fuente: Elaboración propia.

Uno de los aspectos más importantes del objetivo mencionado del PRUG son las Jornadas sobre Investigación del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Iniciadas en el año 1988, éstas se han desarrollado ininterrumpidamente hasta hoy, incluso en tiempos del COVID19. Las jornadas reúnen cada tres años a los equipos científicos que desarrollan sus proyectos de investigación en el parque para que presenten sus resultados, su ejecución o incluso sus fases iniciales.



Canal de Youtube del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici mostrando un video de la salida de campo de las Jornadas de Investigación 2021 y la lista de reproducción asociada.

Sirve también este certamen para poner en contacto a los diferentes miembros, de manera que la interacción entre ellos da lugar a proyectos multidisciplinarios con diferentes enfoques. Un ejemplo de esta proyección multidisciplinaria es el proyecto OCUPA Interacción entre clima y ocupación humana en la configuración del paisaje vegetal (https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/programa-investigacion/Clima_ocupacion_humana.aspx), que une la paleoecología con la arqueología, disciplinas *a priori* bastante alejadas entre sí. Durante tres días se hacen las intervenciones de presentación con posibilidad de debate, así como una visita de campo a zonas de muestreo para poder ver los proyectos *in situ*. En la primera edición de 1988 se presentaron 14 ponencias y actualmente se ha llegado a las 31 en la edición de 2021.

Esta última edición, y como novedad forzada por la pandemia del COVID19, fue emitida en streaming por Youtube, llegando a las 298 visualizaciones en directo. El anuncio de la emisión propició un aumento en las subscrip-

ciones al canal del parque las semanas previas al evento, mostrándose que hay interés por parte de la ciudadanía por este tipo de certámenes. Igualmente, todas las intervenciones hechas en sala, así como las presentaciones hechas en las salidas de campo, fueron grabadas y posteriormente añadidas a una lista de reproducción específica en el canal de Youtube del parque para visualización de aquellas personas interesadas (<https://www.youtube.com/playlist?list=PLsx3Momk7NF4RG-xw6MIXux-cGdMBu3XCA>).

Como conclusión de las Jornadas se edita una monografía con las presentaciones efectuadas en formato de artículo científico. Alrededor de unos treinta proyectos son los que se presentan y se editan finalmente con la inclusión de imágenes, tablas, gráficos y bibliografía asociada. Estas monografías también son enviadas sin coste alguno a instituciones científicas, organismos públicos y bibliotecas especializadas y universitarias para facilitar más el acceso a este tipo de información.



Cambio global: la visión del gestor

Entrevista a María Merced Aniz Montes

Directora-Conservadora del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici



¿Qué valor tiene para la gestión y la investigación en el PN de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici que el parque participe en la Red de Seguimiento del Cambio Global?

La naturaleza tiene respuestas lentas, en cambio las afectaciones son rápidas. Por tanto, hay que saber y entender cómo se ha llegado a la situación actual. Es necesario investigación ya sea básica como aplicada. Las afectaciones globales tienen fuertes repercusiones locales y es necesario formar parte de estas redes de seguimiento para recibir y compartir información. Hay que tener muy en cuenta que los parques nacionales son excelentes reservorios para la investigación a largo plazo.

¿Cuáles son los efectos del cambio global más evidentes, y en particular del cambio climático, en el estado de los sistemas naturales o las especies del parque?

Se observan claramente cambios en la vegetación como en los abetales y la llegada de especies invasoras, que en los casos de flora a veces son difíciles de detectar. También se conforman cambios en los patrones de migraciones de fauna.

Además, el cese de actividades como la ganadería junto al aumento de otras (carreras de montaña principalmente) hacen que haya un cambio en los usos del suelo que puede implicar favorecer los efectos del cambio climático. Otro efecto claro es la disminución de ciertas especies y el aumento de otras; por ejemplo, se detecta presencia de procesionaria del pino a mayores altitudes.

¿Qué especies, hábitats, sistemas y procesos ecológicos considera los más sensibles al cambio climático en Aigüestortes? ¿Qué herramientas de gestión considera las más adecuadas para afrontar el reto de cambio climático?

En nuestro caso principalmente los sistemas lacustres y, por extensión, todos los sistemas acuáticos (ríos, torrentes, barrancos). Como herramienta considero una buena investigación y mucho seguimiento que permita emprender acciones preventivas y/o correctoras. Estas acciones han de poder dar resultados a escala local, pero es importante que no dependan solamente de líneas presupuestarias. También deben contar con un equipo humano estable y poder establecer protocolos para poder actuar en caso necesario.

¿En qué temas resulta prioritario profundizar para mejorar el conocimiento científico sobre el impacto del cambio global en Aigüestortes i Estany de Sant Maurici?

Faltando todavía alguna investigación básica por recoger, actualmente solo se hacen seguimientos a duras penas de Red Natura 2000 porque está de moda. La ampliación de la UE está dando otras perspectivas y está dejando importantes huecos desconexos a nivel global y local

que garanticen la conservación de procesos naturales. Sobre estos se ha de profundizar en las dinámicas e interacciones. A partir del nodo LTER se recogen variables de seguimientos sobre: ciclos del agua, climatología, flujos de CO₂, biogeoquímica de la precipitación atmosférica y las aguas superficiales, reconstrucción de cambios ambientales pasados, tendencias poblacionales y cambios fenológicos. Aunque estos seguimientos llevan más de 30 años desarrollados por centros de investigación es necesario su continuación para obtener datos de la evolución e impacto del cambio global en los ecosistemas del parque.

¿Cuáles son los parámetros de seguimiento del cambio climático global más relevantes para la gestión del parque?

Actualmente, seguir con el inventario ecológico-forestal por los cambios de la vegetación. La revisión de la carga ganadera por los cambios significativos que puede comportar el progresivo abandono de la misma. La carga de visitantes por el cambio de modelo de frecuentación en espacios naturales que estamos teniendo. Finalmente, el seguimiento de la calidad del agua y los recursos acuáticos, mediante parámetros como el ciclo del nitrógeno, que ayudan a conocer el estado de las masas de agua del parque.

¿Cómo debería adaptarse la política de espacios naturales protegidos a los efectos del cambio climático?

Deberían habilitarse instrumentos legislativos estables que faciliten una gestión ágil y eficaz, siempre y cuando también vayan acompañados de recursos económicos no ligados a coyunturas, sino enfocados a garantizar la contribución que hacen a la sociedad los parques nacionales desde diferentes aspectos. La declaración de interés general no debe ser solamente palabras en un texto.



Cambio global: La visión del investigador



Entrevista a Marc Ventura Oller

Científico titular, Centro de Estudios Avanzados de Blanes, CEAB-CSIC

¿Qué valor tiene para la gestión y la investigación la integración del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici en la Red de Seguimiento del Cambio Global, y en particular la instalación y mantenimiento de estaciones meteorológicas en el parque?

Diferentes grupos de investigación trabajan en estudios del cambio global en el parque y por tanto estar integrados en la red es un aspecto muy positivo. En relación a las estaciones meteorológicas también es muy interesante, aunque es una lástima que al instalar la estación no se hayan tenido en cuenta las estaciones ya instaladas previamente para evitar duplicidades.

¿Se pueden extraer conclusiones en relación a los efectos del cambio climático en los ecosistemas característicos del parque?

En mi área de investigación, que son los lagos de alta montaña, se está viendo un incremento paulatino de las temperaturas, pero no es fácil distinguir los efectos específicos del clima respecto a otros factores del cambio global que sí que vemos que tienen efectos muy importantes.

¿Qué componentes del cambio global (cambio climático, cambios de uso del suelo, contaminación, invasiones biológicas...) resultan más relevantes en Aigüestortes?

Aigüestortes se caracteriza por tener una gran cantidad de lagos de alta montaña, los cuales de forma natural eran libres de peces. Ahora mismo en el parque, en el 70% de estos ecosistemas se han introducido peces, que al convertirse en el máximo depredador del lago tienen consecuencias negativas para la biodiversidad.

¿En qué temas resulta prioritario profundizar para mejorar el conocimiento científico sobre el impacto del cambio global en el caso de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici?

Para poder profundizar en el conocimiento del impacto del cambio global es indispensable poder tener series de datos suficientemente largas para poder detectar estos cambios. En estos momentos no existen fondos de financiación que permitan mantener estas series. En Aigüestortes hay uno de los pocos nodos LTER de España y no dispone de financiamiento alguno. Las pocas series que hay existen gracias al empeño de los investigadores que van encontrando la forma de conseguir dinero, pero esto crea mucho estrés y sobre todo hace casi imposible que las series no tengan lagunas.

En Aigüestortes ¿cuáles son las señales más evidentes de los efectos del cambio climático?

En el caso del agua, es el aumento de la temperatura y la duración de la nieve, que en los lagos se traduce en la duración de la cubierta de hielo, que se va acortando. Por ejemplo, este verano hemos encontrado muchos lagos con temperaturas por encima de los 20 grados, algo que no habíamos encontrado nunca de forma generalizada en los últimos 20 años.

¿Qué especies, hábitats, sistemas y procesos ecológicos considera más sensibles al cambio climático en el parque nacional? ¿Qué medidas de seguimiento y/o gestión adaptativa deberían adoptarse de forma prioritaria?

Como he dicho antes, en general el cambio climático es solo una pieza del cambio global, y no es fácil separar un factor del otro. En los lagos, el grupo de organismos más sensibles son los anfibios, ya que tienen múltiples amenazas, algunas como las enfermedades emergentes pueden colapsar poblaciones enteras en días. Otras, como los mamíferos acuáticos, han sufrido regresiones importantes. En Aigüestortes, mediante los proyectos LIFE LIMNOPIRINEUS y RESQUE ALPYR, estamos restaurando algunos lagos a su estado natural libre de peces, para mejorar el estado de conservación de los lagos y para aumentar el hábitat disponible de anfibios, mamíferos acuáticos, murciélagos y diferentes invertebrados. También trabajamos en otros hábitats muy vulnerables al cambio climático como son las turberas, con ejemplos muy destacables en el parque, y que tienen una dependencia muy grande de la hidrología (precipitación) y de la temperatura. En estos hábitats estamos trabajando en medidas como la mejora de los caudales hidroeléctricos, la construcción de abrevaderos para el ganado, de pasarelas para los excursionistas, el cercado para evitar el pisoteo del ganado y la tala selectiva para evitar el crecimiento de árboles.

¿Puede sugerir un pequeño número de indicadores clave de impactos y vulnerabilidad de los ecosistemas en Aigüestortes i Estany de Sant Maurici?

En los lagos, la ausencia de anfibios acostumbra a ir ligada a la introducción de peces, y la ausencia de crustáceos, a que el piscardo sea la única especie de pez introducido en el lago. En este último caso los lagos acostumbran a estar eutrofizados y por tanto la concentración algal es también un buen indicador. La sobre frecuentación turística también es un problema creciente, ya que puede favorecer la dispersión de enfermedades emergentes en la fauna acuática, y finalmente la excesiva explotación hidroeléctrica, que afecta la mayor parte de lagos de gran tamaño del parque y ocasiona la ausencia de especies del litoral que no pueden sobrevivir a la oscilación del nivel del agua.



LACEN: Lagos Centinela de Cambio Global en los parques nacionales

Teresa Vegas⁽¹⁾, Valentí Rull⁽²⁾, Arnau Blasco⁽¹⁾, Miguel Angel Calero⁽³⁾, Sandra Garcés⁽¹⁾ y Núria Cañellas-Boltà⁽⁴⁾

(1) *Universitat de Barcelona (UB), Dept. Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals*

(2) *Institut Botànic de Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*

(3) *Universitat de Barcelona (UB), Dept. de Geografia*

(4) *Geociències Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*



A lo largo del siglo XX se han observado grandes aumentos de la temperatura global, siendo la zona mediterránea una de las que más ha aumentado, llegando a doblar la media mundial. Este aumento de temperatura es acompañado por un incremento de episodios extremos de sequía y lluvia y de una disminución importante de las precipitaciones. Esta tendencia conducirá a la inestabilidad de los ecosistemas acuáticos mediterráneos, afectando directamente a la disponibilidad de los recursos hídricos.

Los lagos remotos presentan una mayor susceptibilidad a los procesos de escala global,

ya que se hallan relativamente poco afectados por la actividad humana. Por ello, los lagos de montaña son excelentes candidatos para la captación de la señal climática y, a su vez, presentan características que los hacen sensibles a las variaciones climáticas, tales como exposición a condiciones climáticas extremas, dimensiones relativamente pequeñas y número relativamente bajo de especies. También tienen la capacidad de registrar eventos del pasado en el sedimento, lo cual permite reconstruir los episodios que hayan quedado registrados, así como su efecto sobre las comunidades biológicas y el ambiente.

Esta información paleoclimática y paleoecológica es de gran valor para el modelado de situaciones y la planificación futura relacionados con el cambio global actual. Dado que el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici ofrece un contexto geográfico y unas condiciones excepcionales en donde llevar a cabo este tipo de estudios, nuestro grupo está investigando los cambios globales pretéritos a partir de sedimentos lacustres, con énfasis en los últimos 300 años.

Actualmente, estamos estudiando dos masas de agua del parque, el Estany de Sant Maurici y la turbera Bassa Nera. En ambas realizamos mediciones en continuo de temperatura y oxígeno a distintas profundidades y realizamos perfiles estacionales que nos aportan datos de temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, potencial REDOX y coeficiente de extinción lumínica, excepto en invierno cuando las aguas se encuentran congeladas. Además recogemos muestras para análisis químicos y de fitoplancton a distintas profundidades. Todo ello con el objetivo de establecer su estado ecológico de referencia.

Paralelamente se han estudiado una serie de testigos sedimentarios (Sant Maurici: SMA13-4B, SMA13-4B-1G; Bassa Nera: PATAM12-A14) extraídos en campañas anteriores que permitirán reconstruir la evolución de los principa-



Vista de la turbera Bassa Nera un día de neblina.

les indicadores lacustres de cambio ambiental en relación al clima y la historia del uso de la cuenca.

En lo que respecta al estudio de los testigos de Sant Maurici, se han datado hasta unos 4.000 años en 3,5m. El polen acumulado en el sedimento del lago, que indica cambios en la vegetación, presenta una distribución temporal muy homogénea y estable durante los últimos 4.000 años, con gran dominancia de bosques de pino, muy similar a la situación actual. En segundo lugar encontramos el polen de abedul, colonizador de claros y espacios abiertos. Curiosamente, se observa que la presencia humana no ha antropiza-

do el paisaje. Las diatomeas acumuladas en el sedimento, particularmente los géneros *Achnanthisdium* y *Staurosira*, muestran 3 fases asociadas a distintos niveles de lámina de agua en el lago.

En lo que respecta al testigo de Bassa Nera se han datado aproximadamente 15.000 años en 11 metros de testigo. Se observan cambios importantes en la sedimentología aparentemente relacionados con los grandes eventos climáticos de la época postglacial. Actualmente este testigo se encuentra en estudio y se prevé relacionar dicha sedimentología con el estudio de quironómidos, polen y diatomeas.



La flora de los lagos del Pirineo 30 años después: respuesta a las presiones y amenazas de cambio global

Esperança Gacia Pasola
Centro de Estudios
Avanzados de Blanes.
Consejo Superior de
Investigaciones Científicas
(CSIC)



El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNASM) tiene como una de las principales señas de identidad los ecosistemas acuáticos, asociados a los circos lacustres de origen glaciar. Un porcentaje significativo de los lagos del parque nacional alberga frondosas comunidades de plantas acuáticas características de aguas oligotróficas y poco mineralizadas.

Por su ubicación remota y por lo general, la naturaleza prístina de sus aguas, los lagos del Pirineo son ecosistemas sensibles a las manifestaciones del cambio global. Así, por ejemplo, en las últimas décadas se han descrito signos de un aumento regional de deposición de nitrógeno y cambios hacia la eutrofización por fósforo en un lago profundo de la zona periférica. El transporte atmosférico es también responsable de la deposición de contaminantes emergentes que han impactado la red trófica de los lagos y de una fuerte estacionalidad en la deposición de microorganismos incluidos patógenos. A nivel local, son las actividades relacionadas con la pesca las que han tenido mayor impacto reciente, facilitando la entrada de especies de peces invasores y causando un fuerte impacto en la biodiversidad. En especial, la introducción del piscardo (*Phoxinus phoxinus*) puede resultar en un aumento severo de la turbidez del agua constituyendo una clara amenaza para la vegetación sumergida y especialmente para las especies de muy lenta recuperación como *Isoetes sp.*

La vegetación sumergida es el componente de la biodiversidad que mejor integra la calidad ecológica de los ecosistemas lénticos



Comunidad mixta de *Isoetes creussensis* y *Sparganium angustifolium*.



Comunidad de *Myriophyllum alterniflorum* con individuos de *Isoetes creussensis*.

según la Directiva Marco del Agua (DMA; Directiva 2000/60/CE) y a su vez el elemento cuya degradación determina un punto de inflexión hacia un estado estable no deseable en cambios de fase hacia aguas turbias en lagos afectados por eutrofización.

Así pues, detectar hasta qué punto la vegetación sumergida es resiliente al cambio global es crucial para preservar la integridad ecológica de los sistemas lacustres del parque nacional. Para evaluar la eutrofización se utilizan indicadores tempranos como la composición físico-química del agua, la biomasa y composición de algas asociadas tanto del plancton como del bentos. Por otro lado, los cambios en la estructura y la composición de sedimentos y, especialmente, en la biodiversidad de la vegetación acuática indican cambios de mayor entidad, siendo la regresión de la vegetación la situación más extrema. Hasta la fecha no se ha abordado el impacto del cambio climático sobre la vegetación acuática.

Por tanto, los lagos del PNASM y zona periférica son un ambiente preferente para la vigilancia del impacto del cambio global. La

conservación de las especies de macrófitos y la integridad de los lagos oligotróficos poco mineralizados está en riesgo. El proyecto FLO-RAQUA OAPN REF. 2825/2021 propone un estudio de diagnóstico regional sobre la afectación de los sistemas lénticos, y en particular de las especies protegidas o vulnerables de la flora acuática y de humedales, elementos de biodiversidad que son imprescindibles para el mantenimiento de la calidad ecológica de los lagos poco profundos del Pirineo. El estudio sinóptico de la vegetación de los lagos realizado a finales de los años 80 y que incluye 35 sistemas del PNASM y zona periférica, nos ofrece una oportunidad única para evaluar el impacto de los cambios ambientales en comunidades de organismos de dinámica lenta durante un periodo de más de tres décadas.

Este estudio, basado en el seguimiento de la biodiversidad de especies estructurales como los macrófitos de ecosistemas acuáticos, representa un claro ejemplo de la necesidad de mantener los estudios ecológicos a largo plazo, lo que se conoce como *long term ecology* (LTER_Ecology).



LIFE+ LIMNOPIRINEUS: Proyecto de conservación de hábitats y especies acuáticas de la alta montaña del Pirineo

Marc Ventura Oller

Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC)



NUESTRA MISIÓN

Los sistemas acuáticos continentales son ambientes poco frecuentes que ocupan sólo un 2% de la superficie de la Tierra y que, a escala global, se encuentran altamente amenazados. Son ambientes con fauna y flora muy específica y sensible, donde abundan las especies amenazadas. En los Pirineos, estos ecosistemas acuáticos se suelen considerar parajes muy naturales. Pero, aunque se encuentren en localidades remotas, las perturbaciones de origen antrópico no han estado ausentes.

Entre los hábitats de interés, hay ciertos tipos de turberas, fuentes de aguas ricas en calcio, ríos y lagos. Las especies objetivo incluyen el llantén de agua flotante (*Luronium natans*), algunos anfibios como la rana bermeja (Rana temporaria), el sapo partero (*Alytes obstetricans*) y el tritón pirenaico (*Calotriton asper*), además del cavilat (*Cottus hispaniolensis*) que es un pez endémico de los Pirineos Centrales. También hay algunos mamíferos que se alimentan en el medio acuático, como el desmán de los Pirineos (*Galemys pyrenaicus*), la nutria (*Lutra lutra*), y dos especies de murciélagos, el pequeño de herradura (*Rhinolophus hipposideros*) y el orejudo alpino (*Plecotus macrobullaris*).

La misión del Proyecto LIFE + LimnoPirineus es mejorar el estado de conservación de las especies y de los hábitats acuáticos de interés europeo de la alta montaña de los Pirineos.

Las medidas implementadas y las actividades realizadas en el marco del proyecto abordan las principales y más importantes amenazas para hábitats y especies acuáticas de tres áreas protegidas de la Unión Europea, integradas en la Red Natura 2000, localizadas en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (SCI Aigüestortes), el Parque Natural del Alt Pirineu (SCI Alt Pallars), y el Estanho de Vilac (SCI Estanho de Vielha, Val d'Aran).

AMENAZAS ABORDADAS

- La introducción y proliferación de especies alóctonas, sobre todo varias especies de peces (salmónidos y ciprínidos), abundantemente introducidos en lagos y torrentes de alta montaña que originariamente estaban libres de fauna íctica.
- Las modificaciones ocasionadas por las fluctuaciones de nivel debidas a la obra hidráulica.
- El exceso de frecuentación tanto de rebaños como de personas alrededor de fuentes o en turberas atravesadas por caminos muy transitados.
- El alto grado de aislamiento de las poblaciones de algunas especies, diezmadas por diferentes acciones antrópicas y que ahora se encuentran en peligro de extinción, como el llantén de agua flotante (*L. natans*) y el cavilat (*C. hispaniolensis*).

ACCIONES DE CONSERVACIÓN Y RESULTADOS EN LOS LAGOS Y RÍOS

1. Eliminación y control de especies de peces alóctonos en ocho lagos objetivo.

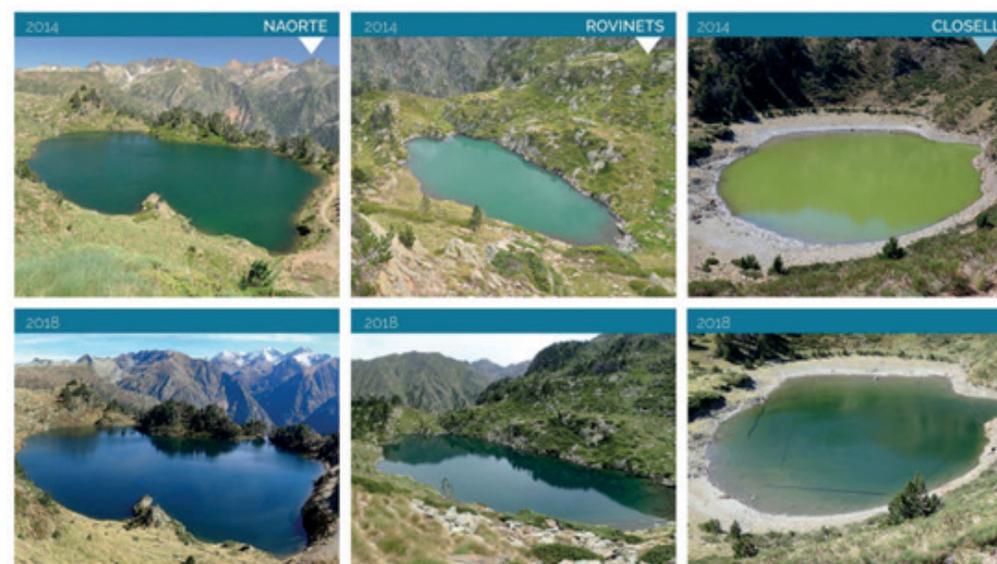
Las dos especies más extendidas de peces introducidos en los lagos pirenaicos de alta montaña son la trucha común (*Salmo trutta*) y el piscardo (*Phoxinus sp.*). Otras especies de salmónidos menos extendidas son la trucha de arroyo (*Salvelinus fontinalis*) y la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). En la erradicación de los peces introducidos se utilizó una combinación de tres técnicas de captura: redes de tipo enmalle sueltas de distinta luz de malla, pesca eléctrica en la franja litoral y trampas de tipo nasa de pequeña luz de malla.

En la mayoría de los lagos, el objetivo operativo era la erradicación, mientras que en solo uno de ellos el objetivo era simplemente realizar un control intensivo para alcanzar al menos un 75% de reducción de la población inicial. A finales de 2019 estos objetivos se alcanzaron plenamente en cinco de los lagos, mientras que en los tres restantes se alcanzaron al finalizar 2020.

2. Recuperación del estado natural de ocho lagos objetivo después de reducir o eliminar la presión ejercida por los peces alóctonos.

El cambio en la estructura y la biomasa de las comunidades de organismos pelágicos y la transparencia de la columna de agua de los lagos objetivo solo se produce de manera marcada cuando el piscardo había sido la única especie de pez en los lagos. En estos casos (Closell, Naorte y Rovinets), la eliminación del piscardo provocó un aumento importante de la abundancia de crustáceos, una disminución de la biomasa del fitoplancton y un aumento de la transparencia de la columna de agua.

El grupo de organismos con una respuesta más clara a la erradicación de los peces son los macroinvertebrados de la zona litoral, con un aumento de la riqueza de taxones a lo largo del tiempo y una convergencia de la composición de macroinvertebrados hacia la de los lagos naturales.



Experiencias destacadas

3. Recuperación de las especies autóctonas de anfibios después de reducir o eliminar la presión ejercida por los peces alóctonos.

La mayor parte de las especies de anfibios autóctonos presentes en cada valle colonizaron de forma natural todos los lagos durante o después de la retirada de peces.

Los datos recogidos muestran que, a medida que se avanzaba en la erradicación de los peces, las poblaciones de anfibios se recuperaban por sus propios medios, alcanzando los niveles específicos de abundancia de los lagos naturales que nos servían de control. Esto subraya la elevada resiliencia de la fauna anfibia de los lagos de alta montaña.

4. Mejora de las poblaciones pirenaicas de cavilat mediante la translocación de individuos.

El resultado más destacado fue la consolidación de dos núcleos de población en los ríos Ruda y Aiguamog mediante la liberación de ejemplares de poblaciones en buen estado situadas en otros sectores del valle de Arán. Estas translocaciones también deberían contribuir a reducir los efectos del aislamiento genético que sufren estos núcleos de población situados dentro de la zona "Aigüestortes".

www.lifelimnopirineus.eu/es

Sistema de Parcelas de Seguimiento de la Biodiversidad Terrestre en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (SISEBIO)

Lluís Comas

Centro de Investigación en Ecología y Aplicaciones Forestales (CREAF)

Xavier Domene

Centro de Investigación en Ecología y Aplicaciones Forestales (CREAF)

Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)



Durante los últimos siglos, la humanidad se ha beneficiado enormemente del desarrollo económico basado en la explotación incontrolada de la naturaleza, de los bienes y servicios que ofrece, aunque ello ha supuesto un cambio global ambiental produciendo un declive de la biodiversidad y una degradación constante de los hábitats. La documentación de la extinción de especies y la disminución de sus poblaciones es muy relevante en vertebrados, pero mucho menos conocida en invertebrados, sobre todo en compartimentos crípticos como el suelo. La pérdida de biodiversidad es un fenómeno global de consecuencias insospechadas, pero más en el caso del suelo, por su participación en procesos ecosistémicos esenciales para el funcionamiento de los sistemas naturales y globales.

Con la finalidad de determinar cambios en la biodiversidad vegetal y de organismos edáficos se materializó el proyecto SISEBIO en forma de una red de parcelas permanentes en los principales hábitats naturales y seminaturales en Cataluña, financiado por el Departamento de Acción Climática, Alimentación y Agenda Rural de la Generalidad de Cataluña. El proyecto no

sólo permite la catalogación de la biodiversidad existente para la mejora de su conocimiento, sino también monitorizar cambios a largo plazo, en ambos casos para facilitar la toma de decisiones de gestión frente a la emergencia climática y el uso sostenible de los recursos naturales.

El proyecto ha catalogado en un centenar de parcelas permanentes, la flora vascular y la biodiversidad edáfica, incluyendo bacterias, hongos, protistas, microartrópodos y nematodos mediante secuenciación masiva (*metabarcoding*). La dificultad histórica para investigar organismos edáficos por su pequeño tamaño y la opacidad del suelo ha sido superada por la actual capacidad de secuenciación genética, que permite abrir la caja negra que supone la biodiversidad del suelo. Para complementar estos datos de estructura taxonómica, también se describe la estructura del hábitat, en términos de estructura de la vegetación, propiedades fisicoquímicas del suelo y de presiones derivadas de los usos humanos históricos y actuales.

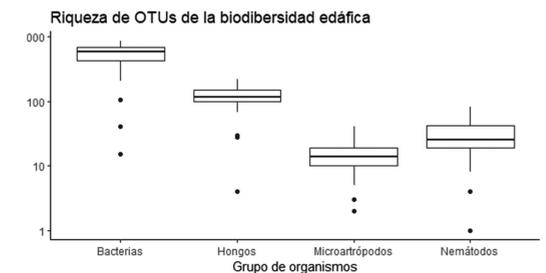


Toma de muestras de suelo para el seguimiento de la biodiversidad edáfica.



Muestreo de la abundancia del líquen *Letharia vulpina* en una de las parcelas de bosque de pino negro.

El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici alberga 7 parcelas de la red, representativas de sus principales hábitats: abetales, bosques de pino negro, pastos de alta montaña, pastos acidófilos secos y canchales. Las parcelas, montadas en el periodo 2018-21, se remuestrearán cada 3-4 años, mientras que la caracterización del hábitat se realizará cada 6. Adicionalmente a este seguimiento, en una de las parcelas del parque nacional se llevó a cabo el seguimiento de una de las pocas poblaciones del líquen *Letharia vulpina* en España, especie catalogada como vulnerable en Cataluña.



Riqueza de OTUs (Unidades taxonómicas operacionales) de cada grupo de biodiversidad edáfica.



Experiencias destacadas

El seguimiento a largo plazo del paisaje del pasado. La investigación paleoambiental del estany de la Bassa

Albert Pèlachs y Jordi Nadal

Grupo de Investigación en Áreas de Montaña y Paisaje. Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)

Josep Manel Rodríguez, Ramón Pérez-Obiol y Marc Sánchez Morales

Grupo de Investigación en Áreas de Montaña y Paisaje. Unidad de Botánica. Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)

Aaron Pérez-Haase

Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales. Universidad de Barcelona (UB)



En las últimas décadas, los estudios paleoambientales basados en registros sedimentarios (lagos y turberas) de las zonas de montaña han aportado una gran cantidad de datos que han ayudado a explicar los principales cambios ambientales a lo largo del tiempo en diferentes partes del planeta. La mayoría de estos estudios se han centrado en explicar los principales vectores del cambio global en el pasado y han discutido la influencia de las actividades humanas sobre el paisaje. Ello ha permitido identificar mejor las perturbaciones (como por ejemplo, los incendios) y discutir el peso de los factores naturales y humanos en los sistemas ecológicos. Ahora bien, hay un aspecto que no debería ser menor y que es del interés de los estudios a largo plazo. Los estudios paleoambientales sirven para minimizar el síndrome de la referencia cambiante



Trabajo de campo en el momento de la extracción del testigo sedimentario del Estany de la Bassa.

(*Shifting Baseline Syndrome*) y, por lo tanto, permiten fijar los objetivos de gestión de la conservación más acordes con la situación en la que se encuentra el sistema natural. En el seguimiento paleoambiental a largo plazo se encuentran algunas de las claves para el futuro de los valores del paisaje natural del parque nacional, ya que permiten establecer el punto de partida del "actualismo" y enmarcan distintos escenarios cambiantes a lo largo del tiempo.

El Estany de la Bassa (LAT 42°35'33.8" N, LON 0°59'13.7"E), un lago de origen glacial situado a 2.173 metros de altitud, ha servido para estudiar la geohistoria ambiental a partir de la extracción de un testigo sedimentario de 2,52 metros. El modelo cronológico ha permitido establecer una edad en la base de 10.216 años cal BP (años calibrados antes del presente). Se ha estudiado el clima a partir del contenido de materia orgánica, los incendios forestales usando los carbones sedimentarios (>150 µm), y el paisaje a partir del análisis del polen y esporas.

Los resultados han permitido establecer la sucesión de diferentes paisajes a lo largo del Holoceno, con un inicio caracterizado por la presencia de taxones colonizadores como el pino, el abedul y el avellano. También juega un papel importante en el paisaje la aparición progresiva de distintas especies como *Abies alba*, entre hace 6.000 y 3.000 años cal BP, o los cereales, a partir de la mitad del Holoceno, en lo que podría ser el reflejo de actividades neolíticas. Durante toda la secuencia, los pastos, representados por las Poáceas, muestran una continuidad en el paisaje y se incrementan con la aparición de los mayores incendios hacia los 5.900 años cal BP. Sin embargo, los valores más altos de herbáceas y cereales ocurren a partir del inicio de la Edad Media, momento que coincide con la máxima perturbación forestal.

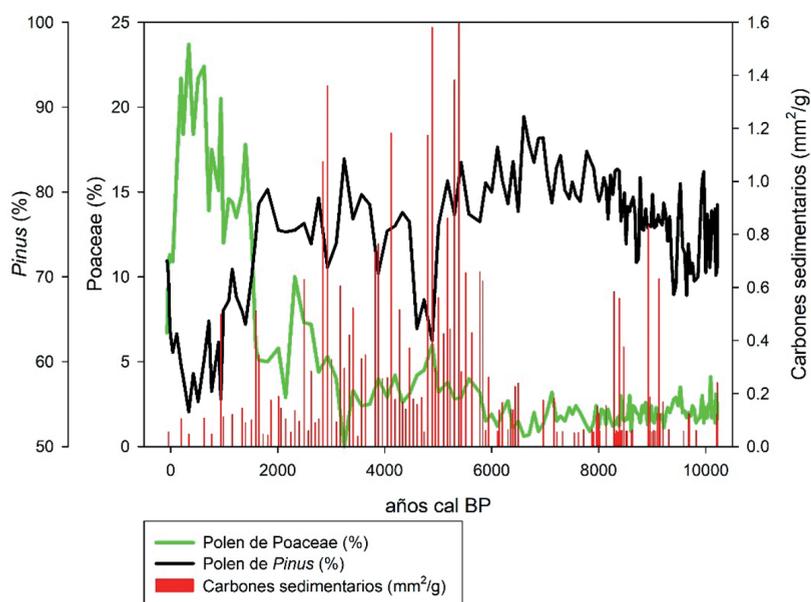
Los datos indican la presencia de incendios a lo largo de todo el Holoceno. No se puede descartar que hayan sido unos de origen natural y otros seguramente provocados por la acción humana. Se han distinguido momentos de elevada y significativa intensidad con episodios en los que los fuegos han sido menos importantes. Destacan los incendios entre 9.500 y 8.500 años cal BP, hecho coincidente con un incremento de la biomasa forestal de la zona y con unos valores de insolación de verano del hemisferio norte máximos para el Holoceno. No se han podido relacionar estos incendios con la actividad humana, aunque hay indicios de actividad muy temprana muy cerca, en el Abric de les Obagues de Ratera. En cambio, sí que los fuegos coinciden con dos eventos climáticos reconocidos en el hemisferio norte en 9.300 y 8.200 años



Testigo sedimentario en el laboratorio de Geografía Física de la UAB.



cal BP descritos como fríos. Entre 8.000 y 6.500 años cal BP, la menor presencia de carbones coincide con un incremento generalizado de las condiciones húmedas en el hemisferio norte durante la transición Holoceno inicial a Holoceno medio. Más adelante, entre 5.900 y 1.000 años cal BP, se detectan niveles elevados de carbones. Estos incendios podrían estar vinculados a las primeras ocupaciones humanas neolíticas y a cambios climáticos que favorecen un incremento de la superficie forestal y una mayor presencia de coníferas en el paisaje. En este período se detectan las mayores concentraciones de carbones sedimentarios de toda la secuencia. Momento en el que destaca la disminución de coníferas entre los 5.000 y 4.500 años cal BP coincidiendo con el inicio de la curva de cereales. Especialmente abrupta es la bajada de polen arbóreo desde la Tardoromanidad hasta hace pocos siglos. Durante los últimos 1.000 años cal BP, se han detectado niveles bajos de carbones y se ha consolidado y acentuado la tendencia de la disminución forestal.



Evolución de los incendios forestales y curvas de *Pinus* y *Poáceas* durante el Holoceno. Las gramíneas muestran la importancia del paisaje abierto y los incendios la relación con el paisaje forestal representado por el pinar.

En conclusión, se ha podido reconocer la importancia del fuego y la actividad humana en la configuración del paisaje forestal actual. El paisaje ha sido cambiante a lo largo del Holoceno y la biomasa asociada ha determinado la importancia de los fuegos. La deforestación de los últimos dos mil años, especialmente desde la Edad Media, ha condicionado los paisajes forestales actuales que son el resultado de importantes perturbaciones.

Monitoreo y modelización integrados en un sistema de alerta de la vulnerabilidad climática en bosques de montaña (MODOSIN)

Enric Batllori^(1,2,3), Miquel de Cáceres⁽³⁾, Víctor Flo^(3,4), Rafael Poyatos^(3,5), Jordi Margalef-Marrase⁽³⁾, Lluís Coll^(6,7), Jordi Martínez-Vilalta^(3,5), Francisco Lloret^(3,5)

- (1) *Universitat de Barcelona (UB), Av. Diagonal 645, Barcelona 08028, Spain.*
- (2) *Institut de Recerca de la Biodiversitat (IRBio)*
- (3) *CREAF, Cerdanyola del Vallès 08913, Spain*
- (4) *Imperial College London, Department of Life Sciences, Silwood Park Campus, Ascot SL5 7PY, UK*
- (5) *Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Cerdanyola del Vallès 08193, Spain*
- (6) *Joint Research Unit CTFC · AGROTECNIO, Spain*
- (7) *Universitat de Lleida (UdL), Lleida 25003, Spain*



En el contexto del cambio climático actual, episodios de decaimiento o mortalidad forestal asociados a condiciones acusadas de sequía (períodos muy cálidos y secos) ocurren en distintas regiones de todo el planeta. Los Pirineos no son una excepción, en su interior se han descrito eventos de mortalidad asociados a la sequía en bosques dominados por las principales especies de coníferas de montaña como el pino negro (*Pinus uncinata*), el abeto (*Abies alba*), o el pino silvestre (*Pinus sylvestris*). En el proyecto MODOSIN se ha desarrollado un sistema integrado de monitoreo y alerta del estrés por sequía de los bosques pirenaicos para poder anticipar su respuesta al cambio climático. El proyecto se basa en la utilización de la red de monitorización existente (parcelas de seguimiento e inventarios forestales) para estimar en tiempo real la vulnerabilidad al decaimiento por sequía y el riesgo que presentan estos bosques a sufrir incendios forestales. Los trabajos se han llevado a cabo en dos Parques Nacionales Pirenaicos: Ordesa y Monte Perdido, y Aigüestortes i Estany de Sant Maurici.

Los resultados preliminares del proyecto MODOSIN han permitido analizar el estrés por sequía histórico (período 1986-2015) y bajo proyecciones climáticas futuras (período 2071-2100) en parcelas puras de pino negro de la red de monitorización del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Esto se ha realizado mediante la integración de datos de estructura forestal, de las características del suelo, y de series climáticas históricas y futuras en el modelo de balance hídrico MEDFATE (De Cáceres et al. 2015. *Agricultural and Forest Meteorology* 213: 77-90). El modelo simula los procesos eco-hidrológicos que determinan el balance de agua del suelo y el uso de esta por la vegetación para predecir la variación temporal de la disponibilidad de agua y el riesgo de sequía. Para ello se recogieron datos de humedad del suelo en 6 parcelas de la red de seguimiento (Figura 1) que confirmaron la capacidad del modelo MEDFATE para





Figura 1. Instalación de sensores de humedad del suelo usados para la validación del modelo de balance hídrico en una de las parcelas de seguimiento del sector Espot del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici.

predecir la dinámica de la humedad del suelo, es decir, del agua disponible para las plantas. En base a esto, y a los rasgos funcionales del pino negro, se ha inferido el estrés por sequía de los árboles, el impacto de este en su capacidad de transportar agua hasta las copas (por formación de embolias en su sistema conductor), y el riesgo de incendio asociado a los cambios de humedad del combustible en las parcelas de estudio para los periodos 1986-2015 y 2071-2100. Para las predicciones futuras se usaron 3 modelos climáticos generales o GCM (General Circulation Models) integrados en modelos climáticos regionales, y bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5) que representan el rango de condiciones climáticas esperadas en el futuro.

Los resultados del proyecto muestran que, a pesar de las fluctuaciones en el estrés por sequía en las parcelas de la red de seguimiento durante el período 1986-2015, las condiciones de sequía no han sido suficientemente severas para causar episodios de mortalidad forestal. Sin embargo, bajo las condiciones climáticas proyectadas para el futuro, se espera una importante disminución del agua disponible en el suelo (Figura 2A) que derivará en un aumento del estrés por sequía del pino y, con ello, un aumento significativo del riesgo de eventos de mortalidad en estas zonas (Figura 2B, 2C). Esto puede tener importantes consecuencias para la dinámica poblacional de esta especie clave que provee hábitat a especies emblemáticas de flora y fauna en el parque. Además, las condiciones climáticas futuras no solo aumentarán la vulnerabilidad climática de los bosques de pino negro, sino que también conllevarán un aumento significativo del riesgo de incendio (Figura 2D, 2E).

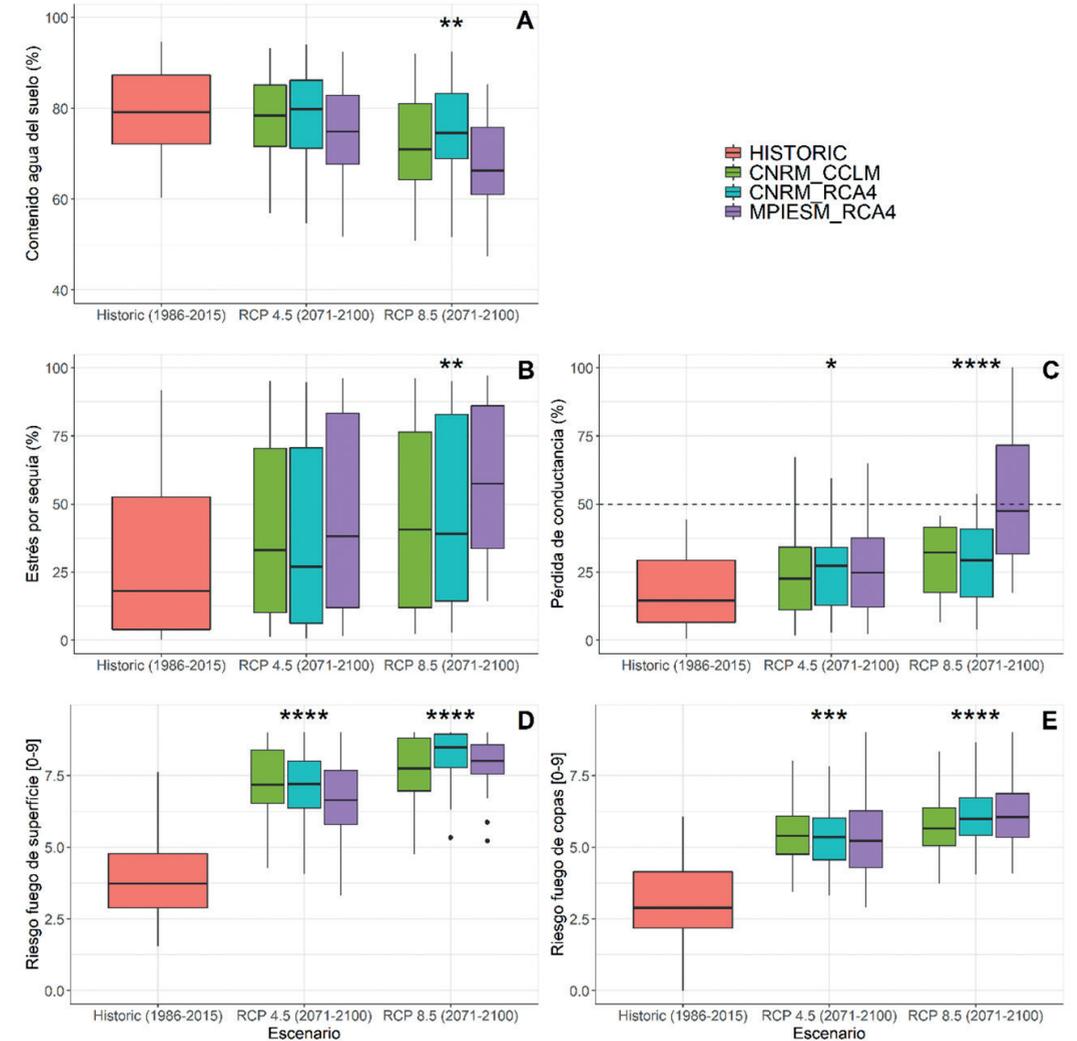


Figura 2. Diagramas de cajas (boxplot) que muestran las predicciones para el período 2071-2100, bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5) y tres modelos climáticos, del contenido hídrico del suelo (A), el estrés por sequía del pino negro en función del grado de cierre estomático (B) y la pérdida esperada de conductancia hidráulica de los árboles (C), donde el umbral del 50% indica riesgo de mortalidad forestal. Las figuras (D) y (E) muestran el riesgo potencial de incendios de superficie y de copas, inferido mediante índices (escala del 0 al 9) que integran la humedad del combustible, la velocidad de propagación del fuego, la longitud de las llamas y su transmisión horizontal. Los símbolos indican diferencias significativas con el período histórico de referencia 1986-2015: * p-valor < 0.5; ** p-valor < 0.01; *** p-valor < 0.001; **** p-valor < 0.0001.



Publicaciones

Desde 1988 el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici celebra sus Jornadas de investigación cada tres años. Fruto de este encuentro se edita una monografía con los artículos científicos de las presentaciones efectuadas. Estos artículos presentan el proyecto, su desarrollo y sus resultados finales o, en caso de proyectos recientes, su fase más avanzada.

En este aspecto una de las finalidades del artículo 2 del Plan Rector de Uso y Gestión del parque es:

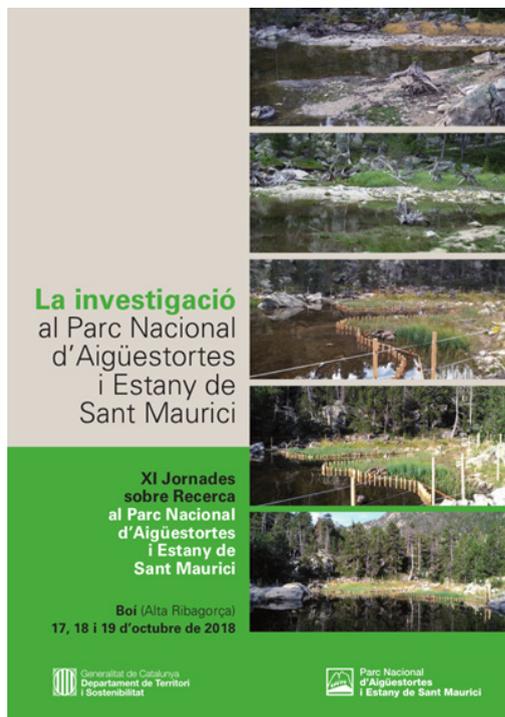
h) Promocionar la investigación y el desarrollo de estudios del medio natural, así como los relacionados con las actividades humanas, los efectos de la gestión y el patrimonio etnológico y cultural.

Cuando se considere apropiado, las actividades y resultados generados se divulgarán e interpretarán para mejorar la comprensión del medio ambiente por parte del público. Sin embargo, por razones de seguridad y privacidad, la administración del parque puede declarar confidencial la información referente a la ubicación de recursos particularmente frágiles.

La edición de la monografía conlleva la presentación de artículos con resumen y palabras clave en el idioma escogido por el equipo redactor (incluyendo siempre un resumen en inglés) con una extensión de unas 15 páginas.

La monografía resultante se envía a los equipos redactores como muestra de agradecimiento por su colaboración.

Dentro del seguimiento de los proyectos científicos que se realizan en el parque, existe una cláusula en las autorizaciones de muestreo que requiere a los equipos investigadores a facilitar, en el plazo de un año, una copia del material publicado o de los resultados finales de su trabajo; ya sea en formato artículo, monografía o tesis.

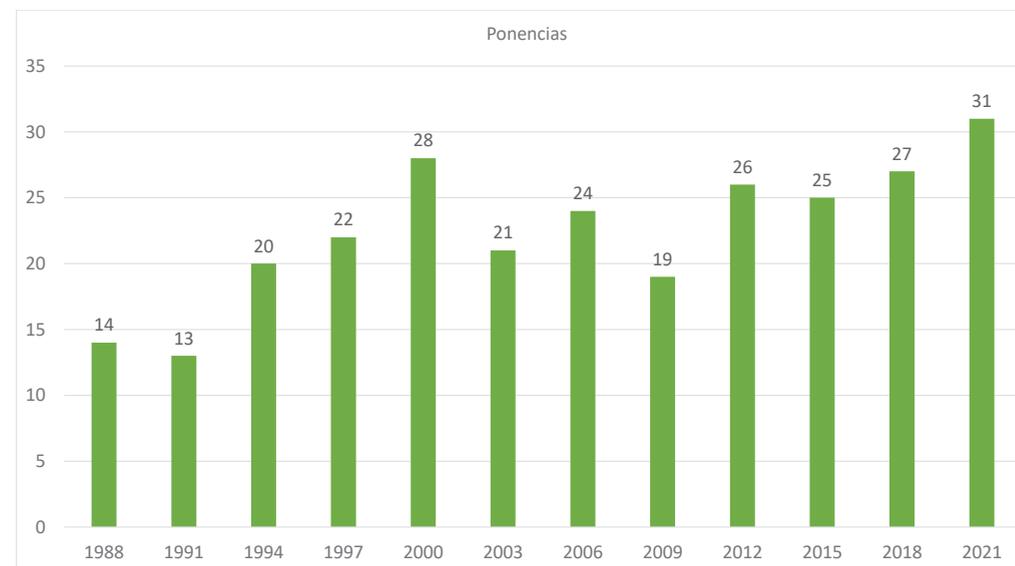


Cubierta de la última monografía publicada de las Jornadas de Investigación del parque.

Otra vía de participación en publicaciones científicas es mediante la colaboración (económica o material) en determinados proyectos. Por ejemplo, el proyecto LIFE+ LimnoPirineus (<http://www.lifelimnopirineus.eu/es/proyecto/publicaciones>), contó con la colaboración del parque en cuanto a la edición y distribución de los posters divulgativos, la memoria final del proyecto y del informe Layman.

Este tipo de publicaciones se envía libre de coste a bibliotecas, centros de investigación y universidades a fin de mejorar la visibilidad de su contenido y hacerlo más accesible a la ciudadanía.

Paralelamente el parque colabora en revisiones y correcciones de artículos más divulgativos de revistas generales, ya sea aportando información complementaria o material gráfico de los cuales se obtiene una copia para su archivo.



Evolución de los artículos presentados en la monografía de las Jornadas de investigación (edición 2021 en prensa). Fuente: elaboración propia.





REDD



cambio global