

Documentos para la reducción de la fragmentación
de hábitats causada por infraestructuras de transporte

1

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE PASOS DE FAUNA, VALLADOS PERIMETRALES Y OTRAS MEDIDAS PARA FAVORECER LA BIODIVERSIDAD EN INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

(Tercera edición, revisada y ampliada)



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE PASOS DE FAUNA, VALLADOS PERIMETRALES Y OTRAS MEDIDAS PARA FAVORECER LA BIODIVERSIDAD EN INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

3a edición, revisada y ampliada



MADRID 2025

Título: Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (tercera edición , revisada y ampliada)

Edición 2026
Lengua/s: Español

Fotografía de cubierta
Aerial view of Ecoduct wildlife crossing
Shutterstock

Agradecimientos: Al equipo de Tragsatec que ha dado apoyo a la elaboración del documento, en particular a Patricia Monterde y Daniela Gaspar. A las personas que han aportado información, asesoramiento o han participado en la revisión de los borradores de esta edición: Álvaro Carretero Luna y Álvaro Fuentes García, Subdirección General de Evaluación Ambiental, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; Almudena Sánchez Alfaro y Fernando López-Menchero Díez, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible; Carmen Rueda, Fundación CBD Hábitat; Eduardo Lacruz Santamaría y Amaya Miguel Aguirregomezcorta, Dirección General de Medio Natural y Paisaje, Gobierno de La Rioja; Esther García García, Dirección General de Sector Ferroviario, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible; Héctor Presas Veiga, Conselleria de Vivenda e Planificación de Infraestructuras, Xunta de Galicia; Iván Alejandro Ramos Torrens, Conselleria d'Agricultura, Pesca i Media Natural, Govern de les Illes Balears; José Miguel Tolosa, Dirección General de Tráfico; Juan Francisco Sánchez Rodríguez y Francisco Javier Herrera Sánchez, GEACAM, Empresa Pública de Gestión Ambiental de Castilla-La Mancha; Rafael Finat, Finca el Castañar. A Infrastructure and Ecology Network Europe (IENE) por la cesión de imágenes y por facilitar el uso de textos del manual en línea *Biodiversity and Infrastructure. A handbook for action*, y a los integrantes del proyecto LIFE Safe-Crossing, por la aportación de información diversa. Y a las personas que facilitaron apoyo a anteriores ediciones del documento: Ferran Camps, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya; Ignacio Garin, Universidad del País Vasco; Asun Gómez, TRAGSATEC; Belinda Guerra y Juan Julián del Nido, DG del Medio Natural, Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León; Gustavo A. Llorente, Universidad de Barcelona; Marc Ordeix, Centre d'Estudis dels Rius Mediterranis; José Antonio Ranea, Asociación Trashumancia Sierra de Gredos; Antoni Sorolla, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya.

Cita recomendada:

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2025. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna, vallados perimetrales y otras medidas para favorecer la biodiversidad en infraestructuras de transporte. 3.ª edición, revisada y ampliada. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 1. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 259 pp. Madrid.

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



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones

NIPO: 665-25-089-7
ISBN: 978-84-18778-99-5
Depósito Legal: M-7017-2026

Gratuita / Unitaria

Este documento se ha redactado en el marco de una **Comisión técnica integrada en el Grupo de Trabajo sobre Fragmentación de Hábitats causada por Infraestructuras de Transporte**, coordinado por Subdirección General de Biodiversidad Terrestre y Marina del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), en la que participaron las siguientes personas:

Manuel Oñorbe Esparraguera, Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Belén Angela de Diego Abajo, Dirección General de Carreteras, Consejería de Vivienda, Transportes e Infraestructuras, Comunidad de Madrid.

Encarna Pérez Aguilera, Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, Consejería de Movilidad y Transformación Digital, Junta de Castilla y León.

Francisco Javier Martínez Medina, OBIMASA. Consejería de Fomento, Medio Ambiente y Servicios Urbanos. Ciudad de Ceuta.

Francisco Javier Salcedo, Dirección General de Política Forestal y Biodiversidad, Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Francisco Pérez María, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

Joaquín Cuenca Lozano, INECO. Asistencia Técnica ADIF AV.

Jordi Solina Angelet, Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural, Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya

Manuel García Sánchez-Colomer, CEDEX, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.

Margarita Rodríguez Pajares, Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, Consejería de Movilidad y Transformación Digital, Junta de Castilla y León.

María Díaz Vázquez, Dirección General de Medio Natural y Biodiversidad, Consejería de Desarrollo Sostenible, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

María Montero Cuellar, INECO. Asistencia Técnica ADIF AV.

Nuria Arnedo Álvarez, Departamento de Infraestructuras y Desarrollo Territorial. Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia.

Saioa Elordui-Zapatarietxe Del Águila, Departamento de Infraestructuras y Desarrollo Territorial. Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia.

También colaboraron en anteriores ediciones:

Georgina Álvarez Jiménez, MITERD

Antonio Ballester Potenciano, Dirección General de Medio Natural, Generalitat Valenciana.

Xavier Baulies Bochata, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya.

F. Javier Cantero Desmartines, Dirección General del Medio Natural, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de Madrid, Comunidad de Madrid.

Adolfo Delibes de Castro, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.

Daniel Echevarría, Dirección General de Obras Públicas, Gobierno de Navarra.

Javier Forcada, Dirección General de Obras Públicas, Gobierno de Navarra.

Marta González Garrido, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.

Miguel Ibañez Mas, Dirección General de Obras Públicas, Generalitat Valenciana.

Maite Manzanares Iribas, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

María Jesús Palacios González, Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía, Gobierno de Extremadura.

José Manuel Pena Regueiro, DX de Conservación da Natureza, Consellería do Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras, Xunta de Galicia.

Francisco Quirós Herruzo, Espacio Natural Doñana, Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Pedro José Rodríguez Sánchez, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.

Sarah Ruiz Arriaga, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Ministerio de Fomento.

Daniel Ruiz Larsson, Departamento de Obras Públicas, Diputación Foral de Bizkaia.

Félix Tijero Sanz, Departamento de Obras Públicas, Diputación Foral de Bizkaia.

Carmen Ursúa Sesma, Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local, Gobierno de Navarra.

Asistencia técnica para la redacción del documento:

Carme Rosell, Luis M. Fernández y Ferran Navàs. MINUARTIA.

Ilustraciones: Pep Gaspar, AT Comunicació y Victor Adorno. Algunas ilustraciones han sido cedidas por Infrastructure and Ecology Network Europe (IENE).

Fotografías: Los nombres de los autores se indican al pie de cada imagen.

1

Presentación

2

Aspectos generales y
marco de referencia

3

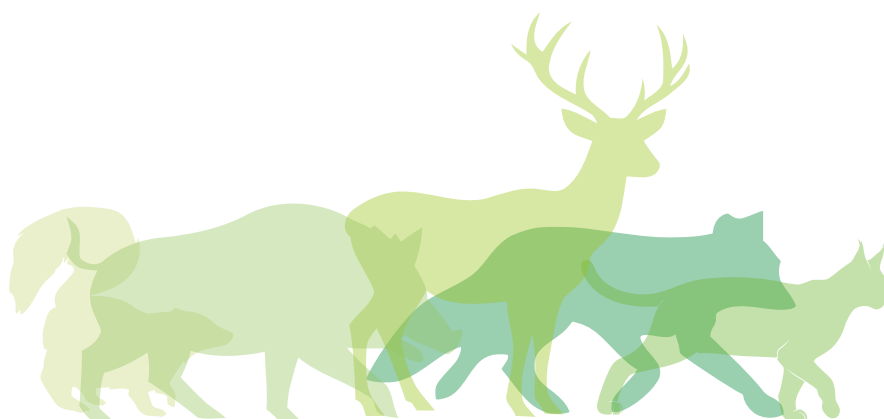
Catálogo de medidas y prescripciones
técnicas para su aplicación

4

Anexo

Índice

1	Presentación.....	pág. 11
	1.1 Antecedentes.....	pág. 13
	1.2 Justificación	pág. 14
	1.3 Ámbito de aplicación	pág. 15
	1.4 Objetivos	pág. 16
	1.5 Destinatarios.....	pág. 16
2	Aspectos generales y marco de referencia	pág. 17
	2.1 Información de base para la elaboración del documento.....	pág. 19
	2.2 Efectos de las infraestructuras viarias sobre la fauna y sus hábitats.....	pág. 20
	2.3 La reducción de impactos en las distintas fases de la vida de una infraestructura	pág. 21
3	Catálogo de medidas y prescripciones técnicas para su aplicación	pág. 27
	3.1 Funciones básicas de las medidas incluidas en el documento	pág. 29
	3.2 Grupos de fauna de especial atención para el diseño de medidas.....	pág. 31
	3.3 Pasos de fauna: elección de la ubicación y dimensiones.....	pág. 32
	3.4 Desfragmentación de hábitats y permeabilización de vías en funcionamiento	pág. 46
	3.5 Fichas descriptivas.....	pág. 56
4	Anexo.....	pág. 245
	Bibliografía	pág. 246



1

Presentación

1

Presentación

2

Aspectos generales y
marco de referencia

3

Catálogo de medidas y
prescripciones técnicas
para su aplicación

4

Anexo

1.1 Antecedentes

Las carreteras y ferrocarriles son fundamentales para el desarrollo social y económico, aunque generan notables impactos sobre la conservación de la biodiversidad que se pueden mitigar, e incluso revertir, aplicando medidas adecuadas. En las últimas décadas se han realizado notorios progresos en el conocimiento y mitigación de los impactos que las vías de transporte generan sobre la naturaleza, y también se han identificado oportunidades para la integración de la biodiversidad en la gestión de vías, que pueden contribuir a que sean más seguras y resilientes frente al cambio climático.

La barrera que constituyen estos ejes lineales para los desplazamientos de fauna silvestre, la mortalidad por atropello u otras causas, y en general, el fenómeno conocido como **fragmentación de hábitats**, se ha revelado como uno de los factores que suponen mayor amenaza para la conservación de la diversidad biológica en Europa.

Pero el efecto barrera de las vías no solo incide en los sistemas naturales. También está afectando gravemente a la **seguridad vial**, a causa de los accidentes producidos por colisiones con grandes mamíferos que muestran un incremento notable en muchas regiones, en paralelo a la expansión demográfica y geográfica de las poblaciones de grandes mamíferos. Este impacto se produce debido a la intersección de las redes viarias con las de conectores ecológicos, que concentran desplazamientos de fauna silvestre.

El desarrollo de una **red de transporte más segura, y sostenible, con el mínimo impacto sobre la fauna** y en general, sobre la biodiversidad, está siendo objeto de seguimientos e investigaciones que han permitido mejorar

el conocimiento tanto de los mecanismos por los cuales operan los impactos, como de las medidas que pueden aplicarse para minimizarlos. El punto de partida de la integración del conocimiento sobre la materia en Europa fue la Acción COST 341 (1999-2003). En ese proyecto de cooperación científica y tecnológica que impulsaron la Comisión Europea y la organización *Infrastructure and Ecology Network Europe* (IENE), se recopiló una extensa información sobre estos aspectos reunida en el documento *Fauna y Tráfico. Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones* (luell et al., 2005; en adelante manual *Fauna y Tráfico*, o primer manual europeo), que aportó directrices consensuadas por expertos de distintos países y fundamentadas en resultados de proyectos experimentales.

La participación española en el proyecto COST 341 se realizó a través del **Grupo de Trabajo sobre Fragmentación de Hábitats causada por Infraestructuras de Transporte**, dependiente de la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad y coordinado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en el marco del cual se publicó en el año 2006 la primera edición de este documento de *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales* (MMA, 2006) que constituyó además el primer volumen de la serie *Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte* en la que actualmente ya se han publicado nueve volúmenes. Los contenidos del documento se elaboraron partiendo del manual europeo, integrando además la información generada en los primeros proyectos de seguimiento y publicaciones sobre la materia elaboradas en España. Asimismo, el formato del documento cambió notablemente respecto al del primer manual europeo, ofreciendo una

presentación de la información en fichas con esquemas e imágenes para facilitar la aplicación de las prescripciones técnicas por parte de los equipos responsables de la redacción de proyectos de infraestructuras viarias y de su evaluación de impacto ambiental (EIA).

La publicación de este documento constituyó un hito clave para impulsar la construcción de pasos de fauna y contribuir a reducir el efecto barrera y la mortalidad de fauna silvestre en infraestructuras lineales de transporte, constituyendo una referencia para la elaboración de proyectos de medidas y declaraciones de impacto ambiental (DIA).

Sobre esta base técnica se han construido en España miles de **pasos de fauna, que contribuyen a favorecer la conectividad ecológica** y reducir los efectos de la fragmentación de hábitats causada por vías de transporte. Estas estructuras **constituyen piezas clave de la 'infraestructura verde'**, que la Comisión Europea y la Estrategia Nacional de infraestructura verde y de la conectividad y restauración ecológicas (MITERD, 2021) definen como una red coherente y estratégicamente planificada de áreas naturales y seminaturales y otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para mejorar la conectividad y proporcionar servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad.

En 2015 se publicó la segunda edición del documento (MAGRAMA, 2015) que actualizaba y ampliaba sus contenidos en base a la revisión de prácticas aplicadas y nueva información disponible.

En el ámbito europeo, IENE abordó también la actualización del manual europeo 'Fauna y Tráfico' con la creación de un grupo de trabajo internacional en 2018, que confluyó con el desarrollo del proyecto HORIZON 2020 *Biodiversity and Infrastructure Synergies and Opportunities for European Transport Networks (BISON)*, y culminó con la publicación de un nuevo manual europeo en línea. Este documento, denominado *IENE Biodiversity and infrastructure. A handbook*

for action (Rosell *et al.*, 2023; en adelante manual *Biodiversity and Infrastructure*, o manual europeo) actualiza los contenidos del primer manual y constituye la referencia básica para la elaboración de esta tercera edición de las prescripciones técnicas de pasos de fauna y vallados, que aporta también, otras directrices para la conservación de la biodiversidad en áreas asociadas a vías de transporte.

Además de las directrices del manual europeo, para la elaboración de este documento se ha considerado la información generada en la última década, tanto aquella incluida en publicaciones de ámbito académico, como en informes inéditos que incluyen resultados contrastados de estudios realizados en España, o aportada por profesionales implicados en gestión y conservación de carreteras y ferrocarriles sobre aspectos como la durabilidad de materiales, dificultades de conservación u otros efectos que sólo la práctica diaria permite revelar. La colaboración de los integrantes del Grupo de Trabajo de Fragmentación de Hábitats ha sido, en este sentido, de crucial interés para la actualización del documento.

1.2 Justificación

Transcurridos 10 años desde la elaboración de la segunda edición del documento, y casi 20 años desde la primera edición publicada en 2006, se ha considerado necesaria su actualización ante el importante volumen de nueva información disponible sobre medidas para reducir la fragmentación de hábitats, los avances tecnológicos asociados a la digitalización, y las directrices aportadas por el nuevo manual europeo.

Durante estos años la aplicación práctica de medidas para reducir los efectos de las infraestructuras de transporte sobre la fauna ha sido muy extensa en toda Europa; la bibliografía publicada es numerosa, y se ha avanzado notablemente en el diagnóstico de nuevos

conflictos, la evaluación de efectividad de las medidas ejecutadas y la aplicación de nuevas tecnologías y materiales. Además, a lo largo de estos años se han celebrado numerosos congresos internacionales y jornadas de ámbito nacional, sobre ecología y transporte en los cuales se ha presentado una importante cantidad de información sobre nuevas medidas y conceptos innovadores. Recientemente, se ha sumado la incorporación de esta temática en jornadas organizadas por entidades titulares y gestoras de vías, para los cuales la siniestralidad con implicación de fauna silvestre es una preocupación creciente.

En este contexto, la actualización del documento se justifica por la necesidad de modificar los contenidos acorde con los conocimientos y buenas prácticas actuales sobre la materia, y para dar un nuevo impulso a la aplicación de las medidas más efectivas para reducir el efecto barrera y la mortalidad de fauna, evitando los costes asociados a la aplicación de medidas cuya efectividad no ha sido avalada o cuya aplicación se desaconseja, a tenor de los resultados de experiencias de seguimiento que se han llevado a cabo.

Finalmente, la obligación de implementar la Estrategia de Desfragmentación de Hábitats Afectados por Infraestructuras Lineales de Transporte (en adelante la Estrategia de Desfragmentación de Hábitats), aprobada en 2024, ha motivado la necesidad de ampliar el documento facilitando directrices para la reducción de impactos de las vías en funcionamiento y para favorecer la conservación de la biodiversidad también en la fase de operación y mantenimiento de las infraestructuras.

Todo ello ha comportado, además de la revisión y actualización del conjunto del documento, la incorporación de 9 fichas nuevas, que incluyen recomendaciones relativas a las siguientes medidas: adaptación de estructuras existentes como pasos de fauna; sistemas de escape de fauna para tramos con cerramiento; señalización activada por sensores de fauna; dispositivos disuasorios visuales y acús-

ticos; medidas para evitar mortalidad de aves en líneas de ferrocarril; gestión de hábitats terrestres y de hábitats acuáticos vinculados a las infraestructuras y finalmente, detección y control de Especies Exóticas Invasoras. Las tres últimas fichas van destinadas a favorecer la conservación de la biodiversidad durante la fase de operación, en el marco de la gestión y conservación de las infraestructuras.

1.3 Ámbito de aplicación

El principal ámbito de aplicación de este documento es la redacción de los estudios y proyectos de nuevas infraestructuras lineales de transporte (carreteras y ferrocarriles) y de mejora de las vías en funcionamiento, incluyendo los proyectos de desfragmentación destinados a mejorar la permeabilidad y reducir el riesgo de atropello de fauna silvestre y los accidentes que conlleva. En particular, va destinado a su aplicación en los estudios informativos y sus correspondientes estudios de impacto ambiental (EslA), en los proyectos de medidas correctoras que se incorporan a los proyectos de trazado y constructivos de nuevas vías, así como en los proyectos de mejora o ampliación de vías en funcionamiento. Además, el documento también facilita información aplicable a los ámbitos de gestión y conservación de vías en funcionamiento. Finalmente, también es aplicable a la ordenación y gestión del territorio con relación a las infraestructuras lineales de transporte, como el desarrollo urbanístico, la planificación y gestión de espacios naturales protegidos y en general, en las intervenciones de mejora de la conectividad y la restauración ecológica.

No son objeto de este documento ni las medidas a aplicar en las fases previas de planificación, en el marco de la evaluación ambiental estratégica, entre las que se incluye la elección del corredor de trazado (aspecto tratado en el documento 3 de la serie, titulado *Prescripciones*

técnicas para la reducción de la fragmentación de hábitats en las fases de planificación y trazado (MARM, 2010)), ni las medidas compensatorias del impacto. Tampoco se presentan de manera exhaustiva los aspectos relacionados con la construcción de la vía y el seguimiento ambiental en fase de explotación, que se desarrollan en el marco del Programa de Vigilancia Ambiental (PVA), ni las tareas de evaluación de la efectividad de las medidas que son objeto del documento 8, titulado *Prescripciones técnicas para hacer efectivos los seguimientos de las medidas de mitigación del efecto barrera de las infraestructuras de transporte (diseño, documentación y archivo del seguimiento ambiental)* (MITECO, 2020). Asimismo, en el documento 5, titulado *Desfragmentación de hábitats. Orientaciones para reducir los efectos de las carreteras y ferrocarriles en funcionamiento* (MAGRAMA, 2013), se incluye información complementaria a la de este documento sobre actuaciones para mitigar el efecto barrera en vías en funcionamiento.

1.4 Objetivos

La finalidad de este documento es aportar prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales, que faciliten el desplazamiento de la fauna silvestre a través de la red de infraestructuras de transporte, con el mínimo riesgo para la seguridad vial, así como facilitar directrices para la gestión de hábitats asociados a vías de transporte con la finalidad de reducir la mortalidad de fauna por atropello, preservar y restaurar la conectividad ecológica y, en general, para favorecer la conservación de la biodiversidad.

El documento facilita las prescripciones a aplicar para conseguir la máxima efectividad de las medidas y ofrece alternativas de diseño o de acondicionamientos de las mismas que permitan una óptima adecuación con base en los distintos contextos paisajísticos, los requerimientos

de conectividad ecológica y la sensibilidad de las especies afectadas. A partir de estas prescripciones técnicas, la decisión sobre el diseño detallado de las medidas, como la ubicación de pasos de fauna, su densidad o sus dimensiones, entre otros, deberá adaptarse a cada situación, contando con el trabajo conjunto de los responsables del proyecto de construcción o de la gestión de vías de transporte, de expertos en fauna y ecología, y de especialistas en restauración de hábitats.

1.5 Destinatarios

Este documento va dirigido a profesionales que participan en las fases de planificación, proyecto, construcción, conservación y explotación de las vías de transporte, así como en los procesos de evaluación ambiental y en el seguimiento de la ejecución de las obras lineales.

También podrá ser de utilidad a profesionales relacionados con la conservación de la biodiversidad, con el urbanismo y el paisajismo. Finalmente, el texto puede ser de interés en el ámbito académico.

2

Aspectos generales y marco de referencia

1

Presentación

2

Aspectos generales y marco de referencia

3

Catálogo de medidas y prescripciones técnicas para su aplicación

4

Anexo

2.1 Información de base para la elaboración del documento

La información que fue incorporada a la primera edición de este documento, en 2006, partió del documento *Fauna y Tráfico. Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones* (luell *et al.*, 2005), elaborado en el marco del proyecto europeo COST 341 *Habitat fragmentation due to transportation infrastructure*. Las prescripciones técnicas incluidas en el capítulo 7 del manual europeo ('Pasos de fauna y otras soluciones técnicas') constituyeron la fuente básica de información. Las propuestas de medidas del manual europeo se definieron según los resultados de seguimientos y evaluación de su efectividad llevados a cabo en distintos países europeos, y consensuadas por un equipo de profesionales integrado por expertos en obra pública, ecología y gestión de fauna pertenecientes a distintas organizaciones de 16 países europeos, y a la organización *Infrastructure and Ecology Network Europe*, impulsora del proyecto. La información aportada por España partió de las experiencias de los integrantes del Grupo de Trabajo sobre Fragmentación de Hábitats causada por Infraestructuras de Transporte.

Para la redacción de la segunda edición del documento en 2015, se amplió la información a partir de una exhaustiva revisión de:

- Bibliografía publicada sobre la materia de medidas para prevenir impactos de carreteras y ferrocarriles sobre la fauna, así como para prevenir los accidentes causados por animales.
- Tesis doctorales u otras monografías, algunas de ellas inéditas, elaboradas en distintos países de Europa sobre la materia.

- Comunicaciones realizadas en jornadas organizadas en España en el marco del Grupo de Trabajo sobre fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte.
- Comunicaciones realizadas en las sucesivas ediciones de los congresos internacionales (cada uno de ellos con carácter bienal) y en particular:
 - ICOET - *International Conference on Ecology & Transportation*.
 - IENE *Conference on Ecology and Transportation*.
- Resultados de estudios y proyectos de evaluación de efectividad, y particularmente los realizados en España sobre seguimiento de medidas de reducción de impactos sobre la fauna, desarrollados en carreteras y líneas de ferrocarril de alta velocidad.
- Manuales y normas técnicas publicadas en otros países europeos incluyendo el *Handbook of Road Ecology* (Van der Ree *et al.*, 2015), el primero de ámbito mundial.

Para la redacción de esta tercera edición del documento se han considerado las siguientes fuentes de información:

- Directrices establecidas en el nuevo manual europeo en línea: *IENE Biodiversity and infrastructure. A handbook for action* (Rosell *et al.*, 2023) elaborado en el marco de un Grupo de Trabajo internacional, y del proyecto BISON, que contó con la colaboración de 37 coautores y 39 colaboradores de 15 países. Este documento actualiza y amplía los contenidos del primer manual europeo y constituye el punto de partida para la actualización de las prescripciones técnicas.

- Revisión de las mismas fuentes consultadas en la segunda edición para identificar nuevos datos aplicables a la mejora de prácticas en el diseño de medidas y nuevas soluciones implantadas a lo largo de la última década, y en particular, las derivadas de la digitalización y aplicación de nuevas tecnologías, así como de Soluciones basadas en la Naturaleza.
- Resultados de estudios de seguimiento inéditos, realizados aplicando técnicas validadas y con períodos de muestreo adecuados, que cobran mayor interés en un ámbito en el que pocos artículos académicos aportan datos concluyentes sobre la efectividad de medidas que puedan verse reflejados en el establecimiento de prescripciones técnicas.
- Finalmente, también se ha considerado información respecto a la durabilidad e idoneidad de medidas aplicadas, recabada en la práctica diaria de gestión y conservación de vías de transporte, y que han aportado principalmente las personas que integran el Grupo de Trabajo de Fragmentación de Hábitats.
- Por otra parte, también se han considerado dos documentos estratégicos: la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas y la Estrategia de Desfragmentación de Hábitats, ambos promovidos por el MITERD y aprobados en 2021 y 2024 respectivamente.

2.2 Efectos de las infraestructuras viarias sobre la fauna y sus hábitats

Las infraestructuras lineales de transporte generan notables efectos en los hábitats de los territorios en los que se integran, y que se incluyen en

el concepto de ‘fragmentación de hábitats’. Este se define, en sentido estricto, como un proceso mediante el cual una gran extensión de un determinado hábitat se divide en un número de tesa-
las de menor tamaño, separadas por elementos (como vías de transporte o núcleos urbanizados) que obstaculizan la dispersión de organismos. El proceso de fragmentación de hábitats, en sentido amplio, es el resultado de un conjunto de efectos que generan pérdida, reducción del tamaño y disminución de calidad de hábitats, suponiendo una amenaza para la conservación de numerosas especies y ecosistemas. Los efectos más destacables de las vías de transporte en la biodiversidad son los siguientes:

- La **pérdida de hábitat**.
- La **reducción del tamaño de los fragmentos** de hábitats, y el aumento del aislamiento entre los mismos.
- La **mortalidad de fauna** por atropello, o por otras causas relacionadas con la infraestructura.
- El **efecto barrera** y de filtro, con la consecuente reducción de la conectividad ecológica.
- Los **efectos de borde**, que incluyen la difusión de contaminantes, ruido y contaminación lumínica, o el aumento de frecuentación antrópica, que generan perturbaciones y comportan pérdida de calidad de los hábitats próximos a las vías.
- Los **procesos en el margen** de las vías, como la creación de nuevos hábitats, canalización de movimientos de organismos, proliferación y dispersión de Especies Exóticas Invasoras, entre otros. También incluyen el desarrollo urbano inducido por la apertura de vías de acceso a territorios anteriormente aislados. Este efecto puede manifestarse incluso en áreas alejadas de las propias vías, además de zonas adyacentes.

Estos efectos se describen con mayor detalle en anteriores documentos de la serie, en

concreto el documento 4, titulado *Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de transporte* (MARM, 2010) y el documento 7, titulado *Efectos de borde y efectos en el margen de las infraestructuras de transporte y atenuación de su impacto sobre la biodiversidad* (MITECO, 2019).

En relación con estos efectos, las medidas incluidas en este documento van destinadas principalmente a reducir la mortalidad de fauna y el riesgo de accidentes causados por fauna silvestre, así como a reducir el efecto barrera de la vía (véase más información en el apartado 3.1). También integran medidas para reducir los efectos de borde y de margen y, en general, para favorecer a la biodiversidad.

2.3 La reducción de impactos en las distintas fases de la vida de una infraestructura

2.3.1 Conceptos básicos sobre la prevención, corrección y compensación de impactos

Las medidas que se presentan en este documento están destinadas básicamente a su aplicación en la evaluación ambiental de estudios informativos, proyectos de trazado, y proyectos constructivos, y facilitan directrices para el diseño de las medidas de prevención, corrección y compensación de impactos que se incluyan en sus correspondientes Estudios de Impacto Ambiental. También son aplicables a la fase de operación de las vías, proporcionando directrices para reducir sus efectos sobre la biodiversidad durante el funcionamiento, así como para los proyectos de desfragmentación orientados a mejorar la permeabilidad de las vías y disminuir el riesgo de atropello.

En este apartado se aporta una visión global del contexto en el que se aplican los distintos

tipos de medidas para minimizar los impactos ambientales de la infraestructura y que pueden clasificarse, según su función básica, como preventivas, correctoras o compensatorias.

Una adecuada mitigación de impactos debe basarse en el principio de la **jerarquía de mitigación** (también abreviada ERC, acrónimo de 'Evitar-Reducir-Compensar'), según la cual, la prioridad es la aplicación de medidas para evitar los impactos, en segundo lugar, para reducir sus efectos y en tercer lugar, si existen impactos residuales, diseñar medidas adecuadas para compensarlos.

Medidas preventivas

Aunque este tipo de medidas pueden ser aplicadas en todas las fases de la vida de la infraestructura, la prevención de los impactos más notables reside, principalmente, en la elección de la alternativa de corredor de trazado, o bien, en la selección de alternativas de modos de transporte que permitan evitar la construcción de un nuevo eje viario. Esta tarea se lleva a cabo durante la etapa de planificación de la vía, en el marco de la ordenación territorial y de la planificación sectorial (planes y programas relacionados con vías de transporte) y en su evaluación ambiental estratégica. Otra etapa clave para la prevención de impactos es el diseño del trazado, en las fases de redacción del estudio informativo o del proyecto de trazado de la vía y su evaluación de impacto ambiental. El principal objetivo en estas fases previas al proyecto constructivo es la prevención de los impactos más significativos que puedan afectar o alterar significativamente hábitats especialmente sensibles, paisajes valiosos por su naturalidad, singularidad, o rareza, o bien que puedan suponer una amenaza para la conservación de poblaciones locales de una determinada especie. También es fundamental prevenir la afección a espacios con alto interés para la conectividad ecológica que, aunque no presenten hábitats particularmente relevantes, puedan ser estratégicos para facilitar los movimientos de

fauna entre distintos fragmentos de hábitat que, sin la presencia de estos corredores ecológicos, quedarían aislados.

Medidas correctoras

Tienen por objetivo reducir al mínimo los impactos que no han podido evitarse totalmente. En este ámbito se incluyen la mayor parte de las medidas que se describen en este documento para reducir los conflictos de seguridad vial que causan las colisiones con grandes mamíferos y minimizar el efecto barrera y la mortalidad de fauna causada por la infraestructura y su uso. El ámbito en el que se definen la mayor parte de las medidas correctoras son el estudio informativo y el proyecto de trazado y, concretamente, en su procedimiento de evaluación de impacto ambiental, de acuerdo con la Ley 9/2018, de 5 de diciembre, de evaluación ambiental, y con la legislación autonómica existente sobre la materia. Las resoluciones de impacto ambiental (declaraciones o informes, según el procedimiento sea ordinario o simplificado) que emiten las administraciones competentes en la materia, basándose en el diagnóstico y la evaluación de impactos de los estudios de impacto ambiental, son las herramientas clave para garantizar que los proyectos constructivos incorporan el conjunto de medidas establecidas para minimizar los impactos. Por ello, es fundamental

que los estudios y las resoluciones de impacto ambiental aporten la mayor concreción posible con respecto a la tipología y ubicación de los pasos de fauna que se requieran para permeabilizar la vía, así como de los vallados perimetrales necesarios para guiar a la fauna hacia estas estructuras. También deben detallar medidas destinadas a reducir perturbaciones (por luz, ruido o contaminación) en los ecosistemas adyacentes, así como otras acciones para favorecer la biodiversidad.

La Ley 9/2018 de evaluación ambiental incluye también la obligación de evaluar la vulnerabilidad de los proyectos ante accidentes graves y catástrofes naturales, que se ve agravada por los efectos del cambio climático. Algunas de las medidas incluidas en esta nueva edición de las prescripciones técnicas, como las **Soluciones basadas en la Naturaleza**, permiten minimizar estos riesgos al tiempo que favorecen la restauración ecológica y la conservación de la biodiversidad en las infraestructuras de transporte y los paisajes por las que discurren.

Estas medidas también pueden incorporarse a proyectos de mejora o ampliación de las vías, contribuyendo a la desfragmentación de hábitats mediante la reducción de atropellos, del efecto barrera, o de otros impactos de las vías en funcionamiento.



Figura 1. Ejemplos de conectores ecológicos -un curso fluvial y márgenes de pastos con vegetación arbórea- que canalizan movimientos de fauna silvestre a través de la matriz territorial. Fotos: C. Rosell y Minuartia.

Medidas compensatorias

La Ley 9/2018 de evaluación ambiental diferencia dos tipos de medidas compensatorias: las 'medidas compensatorias Red Natura 2000' (específicas y reguladas en el artículo 46 de la Ley 42/2007 de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad) y las 'medidas compensatorias' que se aplican ante impactos residuales. Algunas medidas compensatorias pueden incluir actuaciones de desfragmentación, que mejoren la permeabilidad de infraestructuras existentes, o reduzcan el riesgo de atropello de determinadas especies.

La aplicación de estas medidas, destinadas a compensar los impactos que no se han podido mitigar adecuadamente, se intensificó particularmente a partir de la aplicación del artículo 6 de la Directiva 92/43/CEE, que establece la obligatoriedad de ejecutar medidas compensatorias de los impactos cuando se trate de un proyecto que afecte a espacios incluidos en la Red Natura 2000. Esta posibilidad solo se considera admisible cuando el proyecto tenga un interés público de primer

orden, en ausencia de otras alternativas del plan o proyecto que eviten el impacto sobre elementos de la Red y se pueda garantizar que, con la aplicación de medidas compensatorias, se asegure la coherencia global de la Red Natura 2000.

En todo caso, la aplicación de este tipo de medidas pretende conseguir que la pérdida y alteración de hábitats se compensen totalmente, reemplazando las superficies de hábitats eliminados o alterados, por una superficie equivalente de hábitats de calidad y que desarrollen funciones similares. En la práctica, este objetivo es muy difícil de alcanzar, más aún teniendo en cuenta que los hábitats alternativos deben desarrollar funciones clave como la capacidad de facilitar los movimientos de fauna a través de ellos. Por ello, la aplicación de este tipo de medidas, con resultados poco garantizados, debe ser excepcional y restringirse al máximo, especialmente en el caso de los lugares incluidos en la Red Natura 2000, respetando siempre la jerarquía de mitigación, que prioriza la prevención y corrección de impactos frente a la compensación.

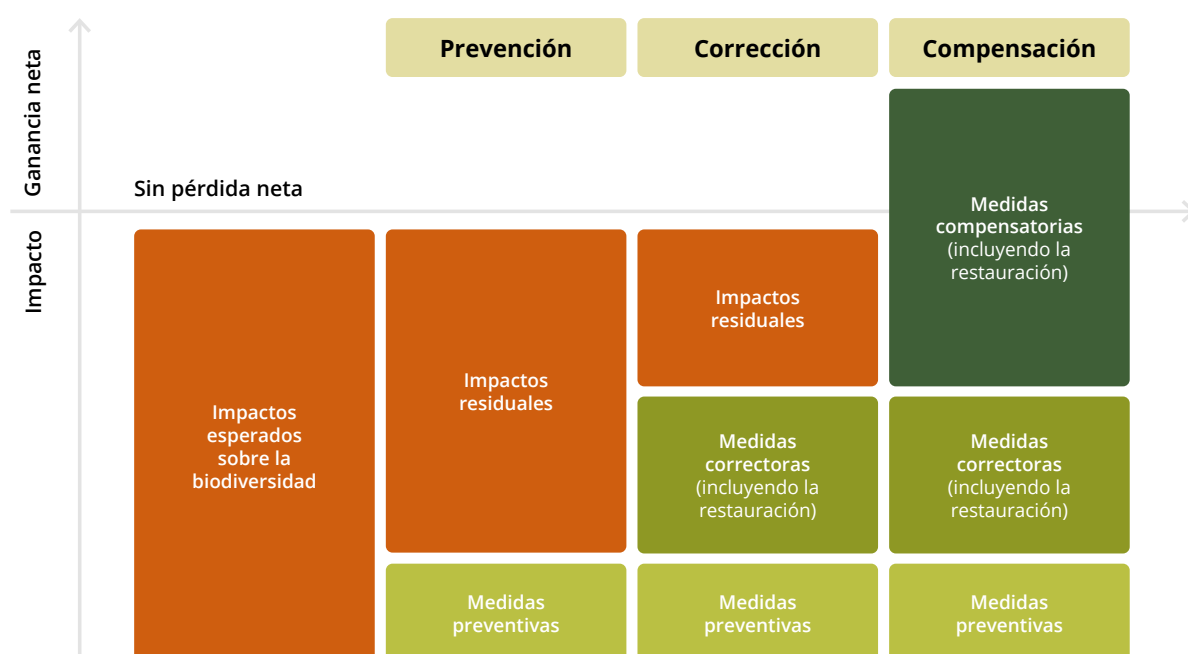


Figura 2. Relación entre los impactos esperados generados por un proyecto sobre la biodiversidad y las ganancias esperadas en las distintas fases de la jerarquía de mitigación para asegurar la 'no pérdida neta' e, incluso, la 'ganancia neta' de biodiversidad. Fuente: 'IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook'.

Por otra parte, las medidas compensatorias son una oportunidad, no sólo para **evitar la ‘pérdida neta’ de biodiversidad**, sino para **alcanzar una ‘ganancia neta’** (véase Figura 2), por ejemplo, desarrollando actuaciones de desfragmentación y restauración ecológica que mejoren el estado de conservación de especies o hábitats clave.

Más allá de la compensación de impactos residuales, el proceso de evaluación de impacto ambiental, ya sea para nuevas vías o para la ampliación o mejora de las existentes, permite a los órganos promotores aportar una **contribución positiva a la conservación y restauración de la biodiversidad**. Las aportaciones que van más allá de cumplir los requerimientos legales establecidos en la legislación pueden reflejarse en los Informes de Sostenibilidad Corporativa, en el marco de la Directiva 2022/2464 sobre reporte de sostenibilidad corporativa (CSDR por sus siglas en inglés).

2.3.2 Actuaciones a llevar a cabo en las distintas etapas de la vida de una infraestructura

El diseño y la ejecución de pasos de fauna y vallados perimetrales, así como la aplicación de otras medidas para reducir la fragmentación de hábitats, se inscriben en un marco más general de actuaciones de minimización de los impactos de las vías de transporte sobre la naturaleza, que se llevan a cabo en todas las etapas de la vida de una infraestructura, desde las iniciales, de planificación, hasta en su fase de explotación (Figura 3).

El diseño de la permeabilización de la vía al paso de fauna, y otras medidas para favorecer la biodiversidad, se inscriben básicamente en el contexto de la evaluación de impacto ambiental del estudio informativo o del proyecto de trazado, y se completa durante la ejecución del proyecto de construcción, con el diseño detallado de las medidas. Las fichas des-

criptivas de las prescripciones técnicas para la ejecución de pasos de fauna y cerramientos serán de utilidad especialmente para estas fases.

Durante la fase de funcionamiento, se ofrecen oportunidades para aplicar **medidas alineadas con los objetivos de la Estrategia de Desfragmentación de Hábitats**, aprobada en 2024. Esta incluye entre sus ejes estratégicos ‘Aumentar la permeabilidad de las infraestructuras y restablecer la conectividad ecológica’, ‘Reducir los accidentes y atropellos de fauna’, ‘Mitigar las perturbaciones asociadas a las infraestructuras y el tráfico’ y ‘Favorecer la biodiversidad y la adaptación al cambio climático en la gestión de las infraestructuras priorizando las Soluciones basadas en la Naturaleza’.

2.3.3 Actuaciones de mantenimiento, control y evaluación de la efectividad de las medidas

Para que el conjunto de medidas diseñadas para mitigar los impactos alcance sus objetivos, es indispensable, además de la aplicación de un buen mantenimiento de las mismas, la realización de controles para supervisar su correcta ejecución y, ya en la fase de explotación de la vía, evaluar su efectividad.

Control y vigilancia ambiental en la fase de construcción

Los controles en fase de construcción se realizan en el marco de la ejecución de los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) y son determinantes para garantizar que las medidas se instalan o construyen adecuadamente. Además, la aplicación del PVA permite aplicar medidas preventivas de los impactos que se producen en esta fase (movimientos de tierras, ruido, voladuras, etc.).

Mantenimiento y conservación de las medidas

Son indispensables para garantizar que las medidas aplicadas sean efectivas, y deben ejecutarse en la fase de explotación de la vía. Tanto los pasos de fauna como los vallados perimetrales requieren actuaciones de mantenimiento que incluyen aspectos como la conservación de las revegetaciones realizadas en los accesos, o en la propia superficie del paso, el arreglo de desperfectos en las mallas de los cerramientos, etc. Es imprescindible que la programación de las tareas de mantenimiento y de los controles para detectar la aparición de desperfectos se incorpore al plan de mantenimiento global de la infraestructura para garantizar la funcionalidad de las medidas a largo plazo.

Seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas

El seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas es otro aspecto clave, que permitirá establecer si las medidas se han instalado o construido correctamente y diseñar y aplicar las mejoras necesarias para optimizar su funcionamiento. Queda fuera del alcance de este documento la descripción del diseño de los programas de seguimiento ambiental, de los métodos de control y de las técnicas para establecer las variables y estándares para la evaluación de la efectividad. Este aspecto se trata con detalle en el documento 8 de la serie: *Prescripciones técnicas para hacer efectivos los seguimientos de las medidas de mitigación del efecto barrera de las infraestructuras de transporte* (MITERD, 2020).

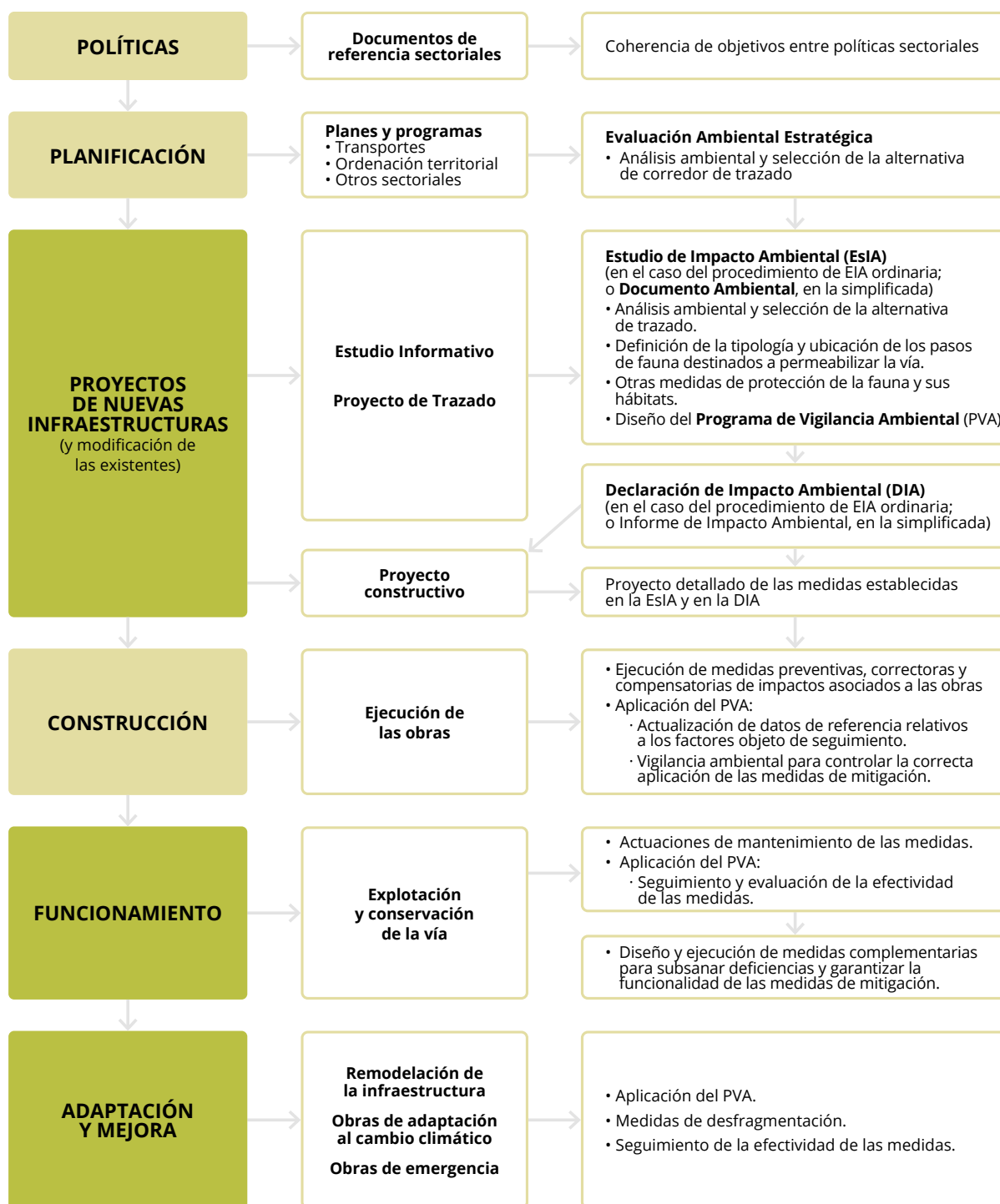


Figura 3. Actuaciones para evaluar y minimizar los impactos ambientales y, en particular, sobre la fauna y sus hábitats a lo largo de las fases de la vida de una infraestructura viaria. La fase de proyecto es el principal ámbito en el que se inscribe la aplicación de las medidas descritas en este documento, aunque muchas de ellas también son aplicables en otras etapas, y en particular, durante la fase de explotación de la vía, y en el desarrollo de proyectos de mejora y adaptación.

3

Catálogo de medidas y prescripciones técnicas para su aplicación

1

Presentación

2

Aspectos generales y marco de referencia

3

Catálogo de medidas y prescripciones técnicas para su aplicación

4

Anexo

3.1 Funciones básicas de las medidas incluidas en el documento

Las medidas en las que se centra este documento tienen básicamente tres objetivos que se describen con mayor detalle a continuación (véase Figura 4): facilitar conexiones entre los hábitats fragmentados, reducir los atropellos de fauna y favorecer la restauración ecológica. En la práctica, las medidas destinadas a alcanzar estos objetivos pueden combinarse y establecer sinergias que permitan conseguir soluciones integradas que garanticen globalmente la permeabilidad de la vía al paso de fauna, la reducción de riesgos para la seguridad vial y la resiliencia y adaptación al cambio climático (tanto de los ecosistemas, como de la propia infraestructura).

Una adecuada planificación y proyecto de las medidas (y en particular, de los pasos de fauna y adaptación de márgenes y drenajes) conseguirá aumentar la resiliencia de la infraestructura frente a eventos catastróficos asociados al cambio climático, reduciendo los riesgos frente a inundaciones, deslizamientos u otros. Además, aumentan la resiliencia de los ecosistemas facilitando que las especies afectadas por variaciones asociadas al cambio climático (aumento de temperaturas o aridez, entre otros) puedan desplazarse y encontrar nuevos hábitats más adecuados a sus requerimientos. La conservación y restauración de la conectividad ecológica es clave para la adaptación de las especies al cambio climático.

a) Favorecer la conectividad ecológica entre los hábitats fragmentados por la infraestructura y facilitar el paso de fauna silvestre

Para alcanzar este objetivo se propone la construcción o adaptación de estructuras transversales a la vía que pueden destinarse exclusivamente a la fauna, o bien compartir el paso de fauna silvestre con otros usos, como el de drenaje o la restitución de caminos o vías pecuarias. En este documento se describen un total de once tipos de pasos (Fichas 1 a 11), cuatro de ellos, superiores a la vía, y siete, inferiores. Por otra parte, seis de ellos van destinados exclusivamente al paso de fauna, mientras que el resto son multifuncionales y se indica cómo adaptarlos para que puedan ser utilizados por fauna silvestre. Algunas de las estructuras (y en particular los ecoductos, pasos superiores específicos y viaductos adaptados) facilitan la continuidad física entre fragmentos de hábitats seccionados por las infraestructuras, permitiendo así conservar, o restaurar, la conectividad ecológica. También se incluye una ficha descriptiva de los acondicionamientos de los accesos a los pasos (Ficha 12). En esta edición, y con el objetivo de facilitar la implementación de la Estrategia de Desfragmentación de Hábitats, se ha incorporado una ficha que indica las modificaciones a llevar a cabo en estructuras transversales en vías en funcionamiento, para facilitar su uso como pasos de fauna (Ficha 13).

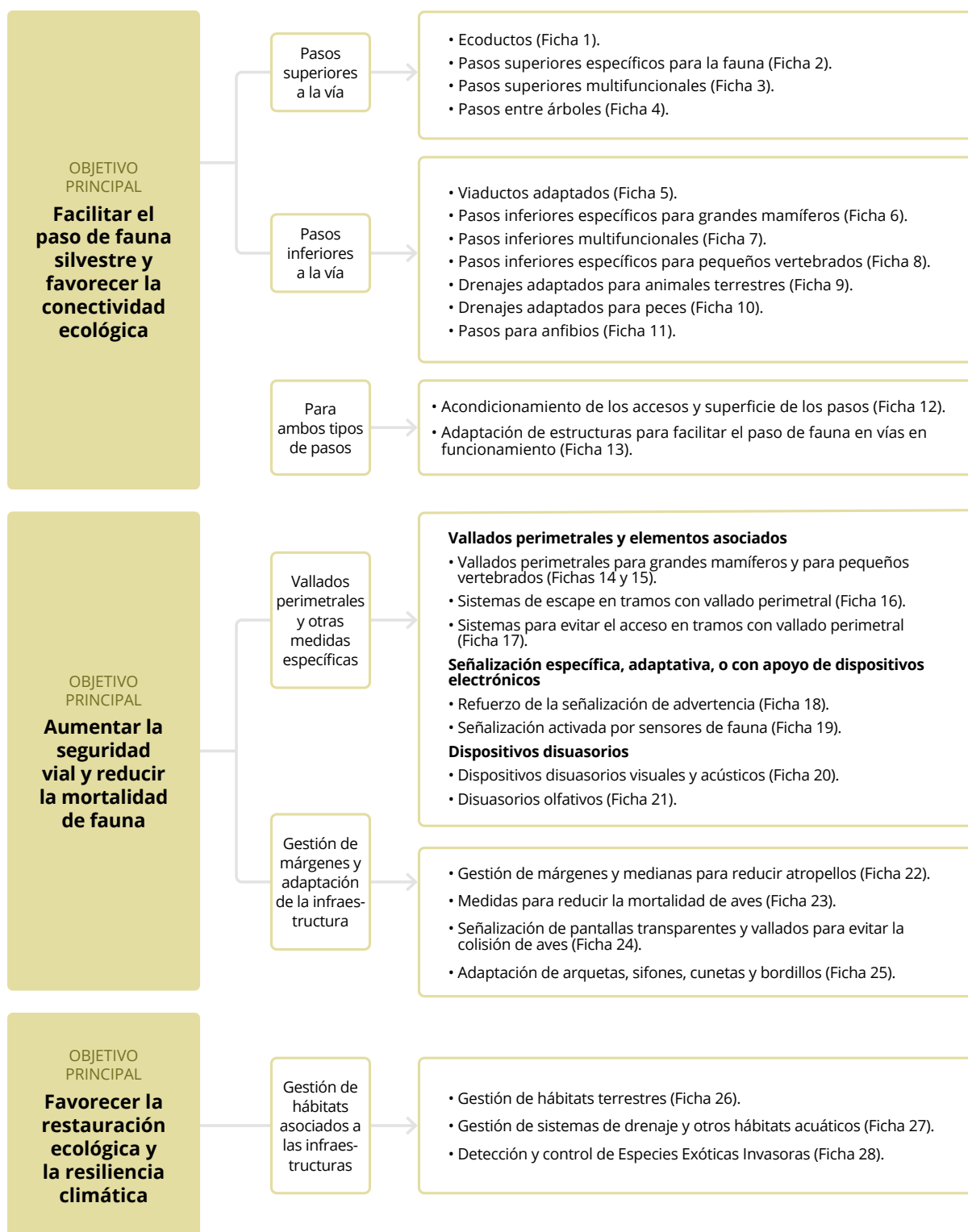


Figura 4. Tipos de medidas a aplicar para reducir los impactos de las infraestructuras viarias sobre la fauna. Se clasifican según su objetivo principal, aunque muchas medidas contribuyen a alcanzar distintos objetivos; por ejemplo, un paso de fauna permite reducir el riesgo de atropellos y favorece la conectividad ecológica. Adaptado a partir de Luell *et al.*, (2005). Las Fichas 29 a 34 complementan las prescripciones con una síntesis de las actuaciones más adecuadas para algunas especies particularmente vulnerables al impacto de las vías de transportes.

b) Aumentar la seguridad vial y reducir la mortalidad causada por el tráfico o por otros elementos relacionados con la infraestructura

La principal causa de mortalidad de fauna asociada a infraestructuras viarias son los atropellos. Las medidas destinadas a reducir estos impactos e incrementar la seguridad vial se basan en la instalación de cerramientos perimetrales que conduzcan a los animales hacia puntos de cruce seguros (Fichas 14 a 17) y otros métodos para evitar los atropellos y riesgos de accidentes causados por grandes mamíferos, como señalización y dispositivos disuasorios (Fichas 18 a 21), que pueden combinarse con medidas de gestión de márgenes (Ficha 22). Estas, combinadas con señalización y disuasivos, son particularmente adecuadas en vías en las que la instalación de cerramiento perimetral no sea posible, o aconsejable; este es el caso de muchas vías convencionales de baja intensidad de tránsito que pueden ejercer un reducido efecto barrera pero presentar problemas de concentración de atropellos en algunos tramos. También se proponen medidas para reducir la mortalidad de aves en vías de transporte (Ficha 23), así como actuaciones para reducir la mortalidad causada por elementos asociados a la infraestructura, como pantallas transparentes contra las que colisionan las aves, o las arquetas y pozos donde pequeños animales pueden quedar atrapados (Fichas 24 y 25). Finalmente, el documento incluye una serie de fichas con recomendaciones específicas sobre medidas para reducir los riesgos de mortalidad y, en general, para favorecer la conservación de determinadas especies y grupos taxonómicos. Concretamente, para insectos polinizadores (Ficha 29), tortugas terrestres (Ficha 30), murciélagos (Ficha 31), mustélidos semiacuáticos (Ficha 32), oso pardo (*Ursus arctos*) (Ficha 33) y lince ibérico (*Lynx pardinus*) (Ficha 34).

c) Favorecer la restauración ecológica y la resiliencia climática mediante la gestión de hábitats asociados a las infraestructuras

La gestión de márgenes de carreteras y ferrocarriles, así como de otras zonas verdes en edificaciones auxiliares, áreas de descanso, u otros, así como una adecuada gestión de sistemas de drenaje, ofrece oportunidades para favorecer a determinadas especies o tipos de hábitat. Concretamente se han incluido recomendaciones sobre gestión de hábitats terrestres asociados a las vías de transporte, principalmente centrados en el mantenimiento de márgenes, pasos de fauna y otros espacios verdes (Ficha 26), para la gestión de hábitats acuáticos y principalmente de las balsas de retención y las estructuras de drenaje transversal (Ficha 27) y finalmente, para el control de Especies Exóticas Invasoras (Ficha 28), un aspecto transversal, para reducir los efectos de esta amenaza sobre la biodiversidad.

3.2 Grupos de fauna de especial atención para el diseño de medidas

- Las **especies o grupos taxonómicos de especial atención** que deberán considerarse en el análisis de los efectos de las infraestructuras sobre la fauna son las que se indican a continuación:
 - a. Las que puedan causar importantes **riesgos de seguridad vial**: todas las especies de ungulados, y, en particular, el corzo (*Capreolus capreolus*) y el jabalí (*Sus scrofa*), que son las especies causantes de la mayor parte de accidentes con implicación de animales en España.
 - b. Las que requieren **grandes áreas de campeo** no interceptadas por barreras: ungulados como el ciervo (*Cervus elaphus*), el corzo o el jabalí, entre otros, así como grandes y medianos carnívoros como el oso, el lobo (*Canis lupus*), el lince ibérico, o la nutria (*Lutra lutra*).

- c. Las que realicen **migraciones estacionales hacia los puntos de reproducción** que pueden ser interferidas por el efecto barrera de vías de transporte siendo altamente susceptibles al atropello: el de los anfibios es uno de los grupos más afectados por esta problemática.
 - d. Los **insectos polinizadores**, que se encuentran en pronunciado declive y una de las causas de su regresión, según la Estrategia nacional de conservación de los polinizadores (MITERD, 2020), es la pérdida y degradación de hábitats, siendo la fragmentación de hábitats una de las amenazas para su conservación.
 - e. Otras **especies amenazadas o de particular interés de conservación** no incluidas en los taxones anteriormente indicados que sean particularmente sensibles a los efectos de las vías de transporte y que se hayan identificado como prioritarias en la Directiva 92/43/CEE, o como 'En peligro de extinción' y 'Vulnerables' en el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEa), según el Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas, o en categorías equivalentes en otros referentes normativos, especialmente los autonómicos. Las especies catalogadas como 'En peligro' o 'En peligro crítico' más sensibles a la mortalidad por atropello y al efecto barrera de las vías son la tortuga mediterránea (*Testudo hermanni*), el murciélago patudo (*Myotis capaccinii*), el visón europeo (*Mustela lutreola*), el oso pardo y el lince ibérico. Para todas ellas se han sintetizado los requerimientos y las prescripciones técnicas por lo que a tipo de vallados y pasos de fauna se refiere en un conjunto de fichas (Fichas 29 a 34) que reúnen las medidas más adecuadas para estas especies.
- En todos los casos se analizarán los hábitats y requerimientos para la dispersión de las especies o grupos afectados, con la finalidad de identificar el posible efecto barrera de la vía o los factores que puedan ser causa de mortalidad o de pérdida de calidad de sus hábitats. A partir de este diagnóstico se deberán definir las medidas más adecuadas para la mitigación de impactos.
 - Además, para el caso particular del diseño de pasos de fauna, y con la finalidad de facilitar la selección del tipo de paso más adecuado para cada situación, se establecen cuatro grandes grupos de referencia que se describen en el apartado 3.3.3. (Criterio 3. Especies o grupos faunísticos de referencia).

3.3 Pasos de fauna: elección de la ubicación y dimensiones

3.3.1 Selección de la ubicación de los pasos de fauna

- La identificación de los puntos de la infraestructura que requieren la construcción de pasos de fauna se realizará en función del análisis de cuatro factores que, fundamentalmente, tratan de delimitar los tramos en los que los desplazamientos de fauna se solapan con el tráfico viario y ferroviario. Los factores a evaluar se indican a continuación.
- **Factor 1. Identificación de hábitats de interés** para los grupos de fauna de atención especial (véase apartado 3.2). Aspectos a analizar:
 - a. Distribución de las especies.
 - b. Distribución de sus hábitats en el paisaje y grado de fragmentación.

- **Factor 2. Identificación de zonas de interés para la conectividad ecológica** y, en concreto, para los desplazamientos de fauna. Aspectos a analizar:
 - a. Presencia de corredores ecológicos.
 - b. Presencia de usos del suelo compatibles con los desplazamientos de fauna de referencia.
 - c. Presencia de formas del relieve que canalizan desplazamientos de fauna, en particular, las vaguadas y las crestas.
 - d. Presencia de cursos fluviales que canalizan movimientos longitudinales de muchas especies de animales, tanto acuáticos y semiacuáticos como terrestres.
 - e. Información sobre rutas de desplazamiento habitual de fauna a partir de posiciones GPS de individuos radiomarcados, prospecciones sobre el terreno y aportaciones de expertos.
 - **Factor 3. Identificación de tramos de concentración de atropellos** en los que se registre un alto índice de mortalidad de fauna, o de accidentes con implicación de fauna silvestre. Este aspecto se evaluará a partir de datos de registros de atropellos en las vías en funcionamiento (cuando se trate de actuaciones de desfragmentación) o, en el caso de que se trate de proyectos para nuevas vías, a partir de registros de atropellos en vías que discurren paralelas o próximas al trazado de las de nueva construcción.
 - **Factor 4. Identificación de áreas a desfragmentar**, en concreto, aquellas que se indiquen en los documentos de ordenación territorial, gestión de espacios naturales o planes de mejora de la conectividad (entre otros), así como las identificadas en el documento 6 de la serie, titulado *Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad (segunda edición ampliada y revisada)* (MITERD, 2024).
- El análisis del paisaje permitirá evaluar conjuntamente el efecto de los factores indicados, y aportará una visión global del interés de los distintos sectores del paisaje para la conectividad ecológica y los desplazamientos de fauna. Solapando esta información con el trazado de la vía se determinarán los tramos que cruzan áreas de mayor sensibilidad y los puntos que requieren pasos de fauna o estructuras de conexión de hábitats. Existen además diversas herramientas SIG que facilitan estos análisis.
 - Se ubicarán pasos de fauna en todos los lugares en los que, a partir del análisis de los factores indicados anteriormente, se determine que sean necesarios para:
 - Facilitar puntos de cruce seguros que eviten el acceso de fauna silvestre a las plataformas de circulación de vehículos.
 - Evitar que queden aislados fragmentos de hábitat de las especies de referencia.
 - Facilitar a los animales el acceso a los recursos básicos (zonas de alimentación, refugio, reproducción, etc.) para el mantenimiento de una determinada población, y que pueden resultar clave para la adaptación al cambio climático de las especies implicadas.
 - Facilitar estructuras de paso que permitan franquear la infraestructura viaria en rutas de desplazamiento habitual de fauna.
 - En los proyectos de mejora o ampliación de vías se analizará la posibilidad de aplicar actuaciones de desfragmentación, construyendo nuevos pasos de fauna en los tramos de alta concentración de accidentes causados por fauna silvestre o de mortalidad de fauna por atropello, así como en los coincidentes con áreas a desfragmentar (véase factor 4 más arriba). Otra solución en estos casos puede ser habilitar pasos de fauna multifuncionales, mediante la modificación

de estructuras ya existentes, como túneles, viaductos u otras estructuras transversales de dimensiones y características adecuadas, que puedan ser adaptadas para favorecer su uso por parte de la fauna, además de ejercer sus funciones primarias de drenaje, restitución de cruce de caminos, u otras.

3.3.2 Densidad de pasos de fauna

- La permeabilización de las infraestructuras viarias al paso de fauna no solo debe garantizarse en tramos que afecten hábitats de alto interés para la conservación, sino en todo tipo de hábitats naturales, e incluso los constituidos por ambientes agrícolas (que además pueden tener también un excepcional valor para la conservación de la biodiversidad, como en el caso de las zonas esteparias) o con transformaciones compatibles con la presencia de fauna silvestre. No obstante, la intensidad de las actuaciones para reducir el efecto barrera será distinta según el interés de los hábitats afectados, estableciéndose orientativamente los requerimientos de permeabilidad que se indican en la Tabla 3.1.
- El índice de 'Densidad de pasos de fauna' se facilitará en unidades de número de pasos de fauna por km de vía y se calculará dividiendo la extensión del tramo de vía analizado (una vez descontadas las longitudes que discurren por viaductos y túneles) por el número de pasos de fauna proyectados o existentes en ese tramo. En el cómputo se incluirán todos los pasos de fauna, tanto específicos como multifuncionales. Únicamente se excluirán los pasos de fauna destinados a taxones con requerimientos muy específicos, como los pasos de anfibios, los pasos entre árboles y los drenajes adaptados para peces.
- Las densidades de pasos recomendadas se indican en la Tabla 3.1, considerando dos grandes grupos de fauna y distintas tipologías de hábitats. Los proyectos deberán intentar que los pasos de fauna se distribuyan garantizando unas distancias mínimas entre ellos, aunque se trata de distancias orientativas que pueden adaptarse ligeramente según las características de cada proyecto, y es preciso que un análisis de detalle defina la ubicación concreta de las estructuras. Para ello, deberá considerarse cuáles son las especies de referencia y el contexto paisajístico, intentando que la ubicación de los pasos se aproxime lo más posible a los puntos de mayor interés para la conectividad ecológica, los que coincidan con rutas de desplazamiento habitual, y zonas de interés para la dispersión de fauna.
- Los tramos de vías que discurren por túneles y los grandes viaductos serán considerados en la evaluación de la permeabilidad global de la infraestructura como sectores totalmente permeables, ya que no generan efecto barrera para la fauna, siempre que no integren usos que limiten o impidan el tránsito de fauna, como áreas urbanizadas o el cruce de otras vías de transporte con alta intensidad de tráfico.
- En general, los análisis de permeabilidad deben considerar la disposición de pasos adecuados para el conjunto de especies que habitan en una determinada área. No obstante, en algunos casos puede ser necesario realizar un diagnóstico de permeabilidad centrado en una sola especie; para estas situaciones es posible aplicar análisis más concretos que consideren la capacidad de desplazamiento y superficie de las áreas de campeo de la especie de referencia. Así, algunos manuales recomiendan que la distancia entre dos pasos para grandes carnívoros no supere la media de las distancias medias individuales recorridas diariamente. Por ejemplo, a partir de los datos sobre desplazamientos de oso pardo en Croacia se estableció que la distancia entre dos pasos debía ser como máximo de 1,4 km, mientras que en el caso del lobo, podía alcanzar un máximo de unos 2 km. Otras recomendaciones proponen que la distancia entre dos pasos sea como máximo equivalente al valor de la raíz cuadrada del área de campeo de la especie de referencia.

Tipologías de hábitats interceptados	Densidades mínimas de pasos para distintos grupos de fauna	
	Pasos adecuados para Grandes mamíferos	Pasos adecuados para Pequeños vertebrados
Hábitats forestales y otros tipos de hábitats de interés para la conservación de la conectividad ecológica	1 paso/km	1 paso/500 m
Hábitats transformados por actividades humanas (incluidas zonas con cultivos, plantaciones o periurbanas)	1 paso/3 km	1 paso/km

Tabla 3.1. Densidades de pasos de fauna propuestas para distintos hábitats y grupos de referencia (véase Criterio 3, para la definición de 'Grandes mamíferos' y 'Pequeños vertebrados'). Estas densidades son orientativas, y la ubicación precisa se definirá ajustándola lo más posible a la localización de hábitats idóneos y rutas de desplazamiento habitual de la fauna de referencia, los sectores de interés para la conectividad ecológica y los elementos paisajísticos lineales (fondos de valle, riberas, ecotonos, etc.) que puedan conducir movimientos de fauna.

3.3.3 Elección del tipo de estructura

La elección del tipo de estructura vendrá determinada por un análisis multicriterio que debe considerar como mínimo tres aspectos (Figura 5):

- El interés del tramo para la conectividad ecológica en general y, en particular, para los desplazamientos de fauna.
- Los condicionantes topográficos derivados del relieve de la zona en el sector en el que se ha establecido la ubicación del paso de fauna.
- Las especies o grupos taxonómicos de referencia.

Criterio 1. Interés del tramo para la conectividad ecológica y para los desplazamientos de fauna

- El análisis de conectividad se aplicará al conjunto del territorio estudiado y considerará la distribución de los hábitats de mayor interés para la dispersión de las especies o grupos taxonómicos de referencia, así como los corredores ecológicos identificados en el área afectada. Es importante que la evaluación se aplique a dos escalas, una de ellas regional, que permite un análisis de paisaje (escala 1:25.000 o 1:50.000), y otra más detallada (a escala 1:5.000 o inferior).

- Estas directrices generales deberán ser concretadas y adaptadas a los contextos locales. Pueden requerirse pasos específicos para la fauna en tramos que cruzan ambientes aparentemente con poca relevancia para la conectividad, si existen estudios específicos que avalen adecuadamente que se trata de un sector de interés primordial para los desplazamientos de fauna silvestre.
- En los casos en los que se requiera mantener la conexión completa entre los hábitats situados a ambos lados de la vía, manteniendo la continuidad de la cubierta vegetal, solo serán aplicables las grandes estructuras, como túneles y viaductos, así como grandes pasos inferiores o superiores de la vía (en particular ecoductos) que faciliten una completa restauración de hábitats en su superficie.
- Además de los análisis de detalle de la zona de estudio, se tomarán en consideración los documentos que identifiquen conectores ecológicos y los diagnósticos de tramos de concentración de atropellos o accidentes causados por animales y de áreas a desfragmentar. Estos pueden haber sido establecidos en documentos del ámbito de la ordenación territorial, el planeamiento urbanístico, los planes de conectividad, así como otros documentos como los de gestión de espacios naturales protegidos, u otros incluidos en esta misma serie (p. ej., el documento 6 sobre áreas a desfragmentar).

Criterio 2. Condicionantes topográficos

Los condicionantes topográficos en los sectores concretos en los que se requieran los pasos de fauna y, concretamente, la disposición de la vía respecto al relieve obligará a optar por pasos inferiores o superiores a la vía. En este sentido se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Es preferible que los pasos tengan los accesos al mismo nivel que el terreno adyacente. Por ello, si la vía discurre entre desmontes, se optará por pasos superiores a la vía, mientras que si discurre sobre terraplén, se optará por pasos inferiores.
- En tramos llanos, se considerarán dos posibilidades:
 - Disponer pasos inferiores a la vía, sea elevando la rasante de la vía para situar la plataforma sobre un viaducto, o bien, situando la vía sobre un terraplén en el cual deberá encajarse la estructura transversal destinada a paso de fauna.
 - Construir pasos superiores con rampas de acceso de poca pendiente. La superficie necesaria para la construcción de estas rampas puede requerir la afectación de terrenos que excedan la franja de dominio público (8 m si se trata de autopistas y autovías y 3 m en carreteras convencionales, multicarril y vías de servicio), por lo cual deberá preverse la expropiación de los terrenos requeridos. Hay que evitar en todo caso, que la construcción de rampas conlleve la pérdida de hábitats de interés en zonas adyacentes a las vías.
 - En ningún caso deben proyectarse pasos subterráneos, es decir, excavados por debajo del nivel del suelo, requiriendo rampas de descenso, y con alto riesgo de inundación.
- Los sectores en los que la vía discurra por media ladera y la sección sea de desmonte-terraplén, no serán adecuados para ubicar pasos, aunque en casos excepcionales pueden proyectarse pasos superiores con

tipología constructiva de falso túnel que se adapten a las condiciones topográficas del terreno.

Criterio 3. Especies o grupos faunísticos de referencia

- Los pasos de fauna deben diseñarse para que puedan ser utilizados por el más amplio número posible de taxones. Por ello, y para facilitar la selección del tipo de paso más adecuado a cada situación, se han identificado grupos relativamente homogéneos en cuanto a la tipología y dimensiones de los pasos que requieren para cruzar las infraestructuras viarias. En relación al tipo de paso de fauna, se establecen los grupos de referencia que se muestran a continuación.

- Estructuras aptas para todos los organismos

Sólo dos tipos de estructuras pueden ser adecuadas para facilitar el paso de fauna de todo tipo de vertebrados, e incluso ofrecer hábitats para insectos y otros grupos de invertebrados. Se trata de los ecoductos y los viaductos adaptados que permiten una completa conexión de los hábitats de ambos lados de la vía, favoreciendo así, el restablecimiento de la conectividad ecológica.

- Pasos para grandes mamíferos

Pasos especialmente adecuados para ungulados (cérvidos, bóvidos y jabalí) y grandes carnívoros (oso pardo, lobo y lince ibérico). También son aptos para el resto de los vertebrados, excepto la fauna piscícola, que requiere adaptaciones particulares. En función de su emplazamiento y características, pueden ser utilizados también por anfibios (si se realizan acondicionamientos específicos para este grupo, como los cerramientos opacos que guíen a los animales hacia el paso (véase Ficha 11) e incluso por diversos grupos de invertebrados.

- **Pasos para pequeños vertebrados**

Pasos adecuados para carnívoros de talla media como los mustélidos, el zorro (*Vulpes vulpes*) o el tejón (*Meles meles*), entre otros, y para el resto de los mamíferos, excepto los ungulados y los grandes carnívoros. También pueden ser utilizados por reptiles y por anfibios si se realizan acondicionamientos específicos para estos grupos, como los cerramientos opacos que guíen a los animales hacia el paso (véase Ficha 11). Aunque algunos ejemplares de lince ibérico utilizan este tipo de estructuras, en puntos estratégicos de conectividad para esta especie es recomendable que se disponga de pasos para grandes mamíferos. Ello también aplica para el jabalí, especie de gran plasticidad adaptativa, de la que se han registrado individuos que se habitan a usar pasos destinados a pequeños vertebrados, pero para la cual deben proveerse pasos para grandes mamíferos con el objetivo de garantizar la reducción de riesgos de accidentes en los que se ve involucrada esta especie.

- **Pasos para anfibios**

Pasos destinados exclusivamente a este grupo, que deben contar con estructuras de guía constituidas por cerramientos totalmente opacos (véase Ficha 11). También pueden ser utilizados por micromamíferos (insectívoros y roedores) y algunos mustélidos.

- **Estructuras para peces**

Son aplicables las estructuras que permiten mantener el cauce fluvial intacto, básicamente viaductos adaptados (véase Ficha 5) y, en algunos casos, drenajes adecuadamente acondicionados (véase Ficha 10). En casos particulares pueden aplicarse dispositivos que permiten favorecer el avance de determinadas especies de peces a través de drenajes.

- Para algunas especies que se han catalogado como 'En peligro de extinción' (o taxones que las incluyen) y que son particularmente vulnerables a los efectos de las vías de transporte, se indican los tipos de pasos de fauna más adecuados en las Fichas 29 (insectos polinizadores), 30 (tortugas terrestres), 31 (murciélagos), 32 (mustélidos semiacuáticos), 33 (oso pardo) y 34 (lince ibérico).
- Para que los pasos para grandes mamíferos y pequeños vertebrados sean efectivos se requieren cerramientos perimetrales que conduzcan a los animales hacia sus accesos. Las características de los vallados varían según la especie o grupo de referencia al que van destinados (Fichas 14 y 15).
- Los seguimientos de pasos de fauna en funcionamiento han permitido identificar los requerimientos de las distintas especies que los utilizan. En función de estos condicionantes, en la Tabla 3.2 se aporta una visión de síntesis, indicando la idoneidad de los distintos tipos de pasos de fauna descritos en el documento para cada especie o grupo taxonómico.

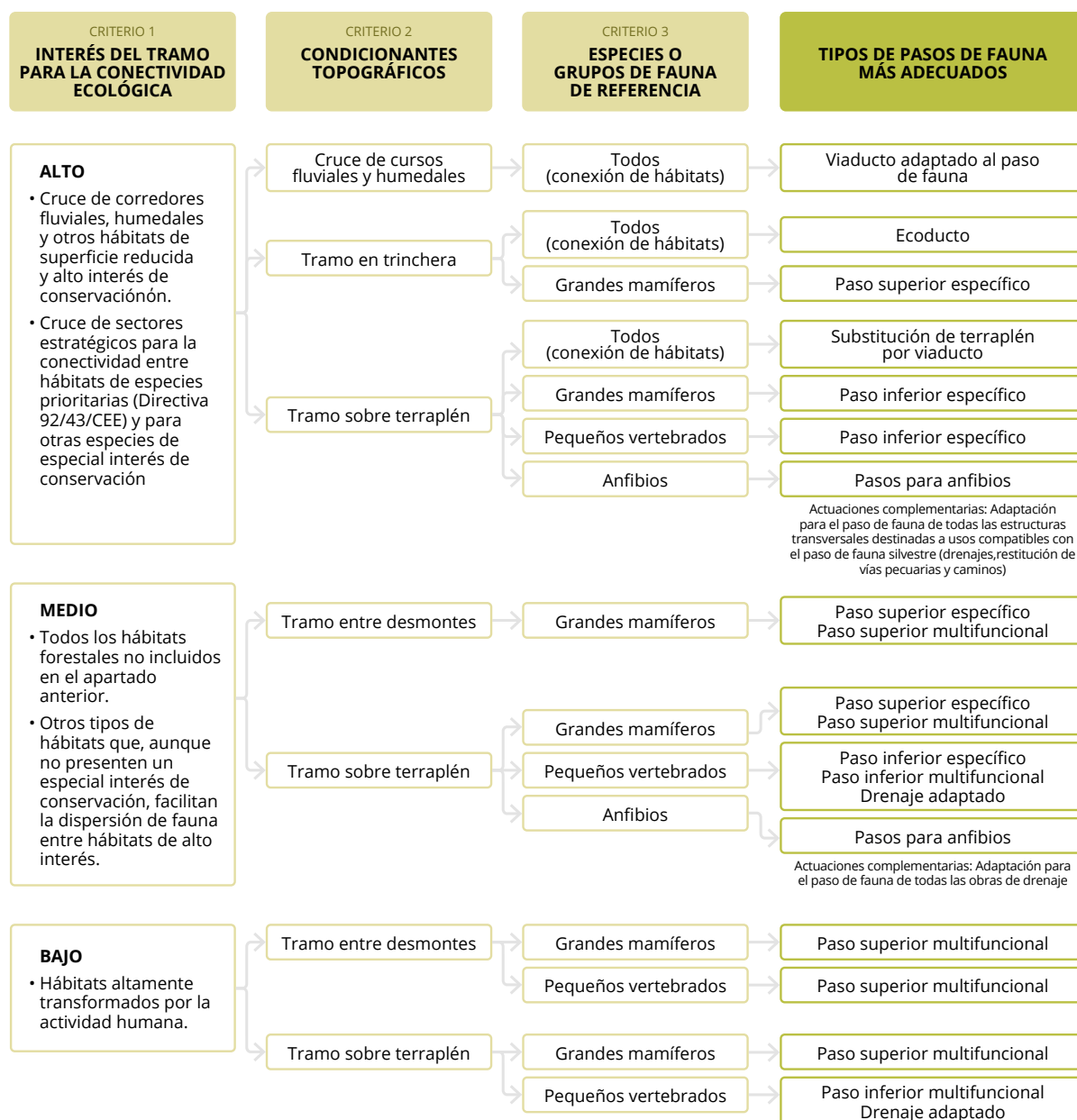


Figura 5. Aplicación a los proyectos de nuevas infraestructuras viarias de la integración de los criterios para la elección de la ubicación y características de los pasos de fauna. Véase texto para más información sobre la aplicación de los criterios, y en particular, el Criterio 3 para la descripción de los grupos de fauna de referencia.

Tabla 3.2. Idoneidad de los tipos de pasos de fauna descritos en el Catálogo de Medidas para distintas especies o taxones. Adaptado a partir de Rosell *et al.*, (2023).

	Ecoductos (Ficha 1)	Pasos superiores específicos para la fauna (Ficha 2)	Pasos superiores multifuncionales (Ficha 3)	Pasos entre árboles (Ficha 4)	Viaductos adaptados (Ficha 5)	Pasos inferiores para grandes mamíferos (Ficha 6)	Pasos inferiores multifuncionales (Ficha 7)	Pasos inferiores específicos para pequeños vertebrados (Ficha 8)	Drenajes adaptados para animales terrestres (Ficha 9)	Drenajes adaptados para peces (Ficha 10)	Pasos para anfibios (Ficha 11)
Ungulados											
Cérvidos y bóvidos	●	●	○	-	●	●	○	-	-	-	-
Jabalí	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Carnívoros											
Oso pardo	●	●	○	-	●	●	○	-	-	-	-
Lince ibérico	●	●	○	-	●	●	○	○	○	-	-
Lobo	●	●	●	-	●	●	●	-	○	-	-
Zorro	●	●	●	-	●	●	●	●	●	-	-
Tejón	●	●	●	-	●	●	●	●	●	-	-
Nutria y visón europeo	○	○	○	-	●	●	●	●	●	-	-
Marta y garduña	●	●	●	○	●	●	●	●	●	-	-
Turón y comadreja	●	●	●	-	●	●	●	●	●	-	○
Gineta	●	●	●	-	●	●	●	●	○	-	-
Lagomorfos											
Liebre	●	●	●	-	●	●	●	○	○	-	-
Conejo	●	●	●	-	●	●	●	○	○	-	-
Murciélagos	●	●	●	-	●	○	○	○	○	-	-
Insectívoros											
Erizos	●	●	●	-	●	●	●	○	○	-	-
Musarañas	●	●	●	-	●	●	●	○	○	-	○
Roedores											
Ardilla	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-
Lirones	●	●	○	●	●	?	?-?	-	-	-	-
Ratones y topillos	●	●	●	-	●	●	●	●	○	-	○
Reptiles											
Serpientes	●	●	●	-	●	○	○	○	○	-	-
Lagartos	●	●	●	-	●	○	○	○	○	-	-
Tortugas	●	●	●	-	●	○	○	○	-	-	-
Anfibios	○ ¹	○ ¹	○ ¹	-	● ¹	○ ¹	○ ¹	○ ¹	○ ¹	-	●
Peces	-	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-
Aves apeonadoras	●	○	○		●	○	○	-	-	-	-
Invertebrados terrestres											
Especies de hábitats secos	●	●	●	-	●	○	○	○	-	-	-
Especies de hábitats húmedos	○	○	○	-	●	○	○	○	○	-	○

● solución óptima ○ se puede utilizar adaptada a las condiciones locales - no aplicable ? se requiere más información

¹ Si existen las condiciones adecuadas de humedad y cuentan con estructuras de guía opacas.

3.3.4 Dimensiones de los pasos

Las dimensiones son un factor clave para la efectividad de los pasos de fauna para determinadas especies (en particular, de ungulados y grandes carnívoros), aunque su ubicación con respecto a los hábitats que usan los grupos de fauna de referencia tiene tanta, o más, importancia. Así, un paso mal ubicado o con una incorrecta integración en su entorno, no alcanzará la efectividad deseada. Por ello, y para garantizar un óptimo balance coste/beneficio, es necesario que el paso, además de alcanzar las dimensiones mínimas prescritas, tenga una correcta localización y adaptación de sus accesos y superficie, además de contar con un mantenimiento adecuado.

En los proyectos constructivos las dimensiones son el elemento básico de partida para el diseño, y esta variable determina en gran medida sus posibilidades de restauración e integración, así como su coste. Por ello requiere particular atención, y es indispensable para proyectos de nuevas vías, el cumplimiento de los valores indicados en este apartado, según tipo de paso y fauna de referencia.

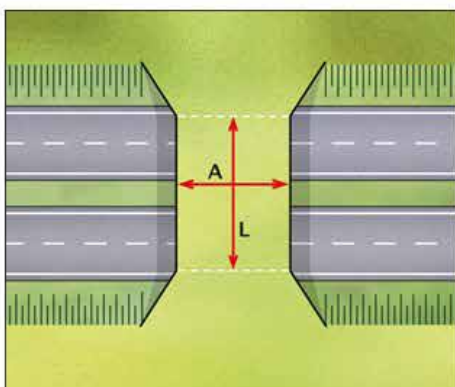
Las dimensiones indicadas en la primera edición del documento, en 2006, se establecieron considerando los resultados de seguimientos de pasos llevados a cabo en toda Europa que fueron analizados por expertos participantes en la Acción COST 341 y reflejados en el manual *Fauna y Tráfico* (Iuell *et al.*, 2005). No obstante, y con base a resultados de seguimientos realizados en España, se establecieron anchuras mínimas inferiores a las prescritas en el manual europeo para el caso de pasos inferiores específicos y multifuncionales. En esta tercera actualización del documento, se han contrastado las prescripciones establecidas con las del nuevo manual europeo *IENE Biodiversity and Infrastructure. A handbook for Action* (Rosell *et al.*, 2023), que sustituye al primer manual, y que ha contado con la participación de expertos que han recopilado datos de toda Europa. Con base a ello, se han realizado pequeñas modificaciones en algunas de las dimensiones prescritas.

- Para la **obtención de las dimensiones** es fundamental aplicar métodos estandarizados que permitan recopilar datos homogéneos y comparables entre distintos proyectos. Por ello, en las Figuras 6 y 7 se facilitan instrucciones para la medición de pasos de fauna y otras estructuras transversales, establecidas en la Ficha 14 del documento 8 de esta serie: *Prescripciones técnicas para hacer efectivos los seguimientos de las medias de mitigación del efecto barrera de las infraestructuras de transporte* (MITERD, 2020), dónde se puede encontrar más información sobre este aspecto.
- Las **dimensiones mínimas** establecidas para cada tipo de paso en proyectos de nuevas vías se indican en las Tablas 3.3. y 3.4, y son de indispensable aplicación para garantizar la efectividad de los mismos para los taxones a los que van destinados, y para alcanzar un óptimo balance coste/beneficio. Aunque en alguna situación, se registren individuos que cruzan por estructuras de dimensiones inferiores a las prescritas (normalmente se trata de individuos jóvenes o muy habituados a espacios humanizados), ello no justifica que los nuevos pasos se construyan con base a estas observaciones.
- Las **dimensiones recomendadas** (Tablas 3.3 y 3.4) se aplicarán siempre que se requiera garantizar la efectividad de pasos de fauna situados en puntos de interés estratégico para la conectividad ecológica, o reducir riesgos de atropellos y facilitar los desplazamientos de especies de fauna amenazada.
- En el caso de **proyectos de desfragmentación**, cuando en vías en funcionamiento se proyecte la adaptación de estructuras ya existentes (drenajes u otros) para facilitar el paso de fauna, también es recomendable alcanzar las dimensiones mínimas indicadas, aunque en algunos casos podrán adaptarse estructuras de dimensiones inferiores a las prescritas para nuevas vías, siguiendo las indicaciones facilitadas en la

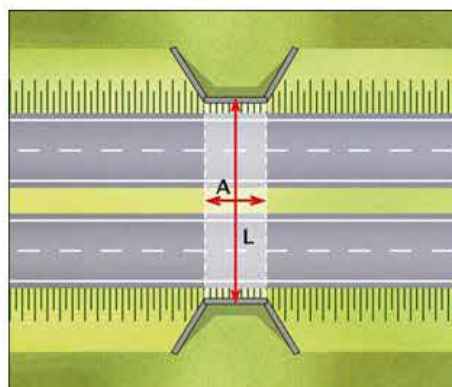
Tabla 3.4. Concretamente, en pasos inferiores, la altura podrá verse reducida hasta 2,5 m en caso de que alcanzar la altura mínima prescrita obligue a elevar la elevación de la rasante de la vía, con las consecuentes alteraciones de los hábitats adyacentes. Por otra parte, cuando los nuevos pasos de fauna se destinen exclusivamente a mustélidos semiacuáticos (p. ej. a nutria o visón europeo, para los cuales es frecuente que se requiera la adaptación de drenajes para reducir su mortalidad en puntos negros de atropello; véase Ficha 32) podrán reducirse las dimensiones hasta 1 x 1 m, aunque ello limitará su uso por parte de otras especies que requieren mayores dimensiones, y dificultará el mantenimiento del paso. Finalmente, para el caso del lince ibérico, las dimensiones prescritas siguen las directrices establecidas por los equipos de seguimiento de la especie, que han constatado que es capaz de utilizar drenajes de pequeñas dimensiones en vías existentes en su área de distribución. Por ello, cuando se adaptan pasos en vías en funcionamiento, excepcionalmente podrán considerarse dimensiones inferiores a las prescritas, siempre que el paso tenga una óptima ubicación. En general, los casos en los que se contemplen la reducción respecto a las dimensiones mínimas establecidas deberán contar con estudios que justifiquen su idoneidad.

- Se desaconseja la construcción o adaptación de pasos que superen los 70 m de longitud, salvo casos excepcionales en los que técnicamente no sea viable ninguna otra alternativa, y vayan destinados a especies de requerimientos poco estrictos, por lo que a dimensiones se refiere.
- Siempre que sea posible, los pasos se construirán perpendiculares a la infraestructura, con la finalidad de reducir su longitud y facilitar la visibilidad del otro extremo del paso. No obstante, es aconsejable que los pasos inferiores o drenajes adaptados por los que discurra un curso fluvial mantengan la alineación natural del curso.
- Con respecto al **índice de apertura** para pasos inferiores y a la **relación entre anchura (A) y longitud (L)** para los superiores, las dimensiones que se indican en las Tablas 3.3 y 3.4 permiten considerar el principio de que, a mayor longitud del paso (que corresponde a vías con mayor anchura de plataforma), mayor anchura de la estructura se requiere. En este sentido, se destaca que, ante la reducida evidencia empírica recabada para el requerimiento de una $A/L > 0,8$ para pasos superiores, cuando no fuera viable construir las grandes estructuras que esta prescripción requiere en determinados proyectos, se podrá considerar admisible alcanzar una ratio mínima de $A/L > 0,4$. Para ello, se requerirá un estudio ecológico que justifique que ello no supondrá una reducción de la permeabilidad que afecte a intersecciones de corredores ecológicos o hábitats de especies amenazadas.
- Hay que destacar, finalmente, los **beneficios que aportan los pasos de grandes dimensiones**, tanto superiores como inferiores a la vía. Además de restablecer la conectividad ecológica, estas estructuras favorecen la adaptación al cambio climático y aumentan la resiliencia de la infraestructura. Además, la construcción de grandes ecoductos, o pasos superiores mediante falsos túneles, puede actuar como depósito de excedentes de excavación y evitar su transporte a zonas más distantes que requieren la habilitación de vertederos de tierras. Ello permite ahorrar costes y reducir la huella de carbono del proyecto. Asimismo, los viaductos y grandes pasos inferiores permiten reducir los riesgos por inundaciones en caso de avenidas.

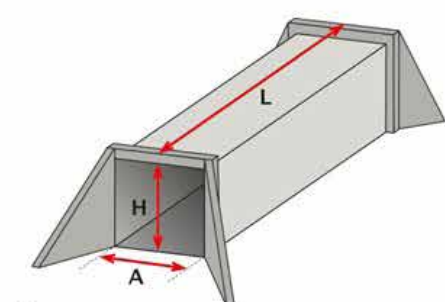
PASO SUPERIOR



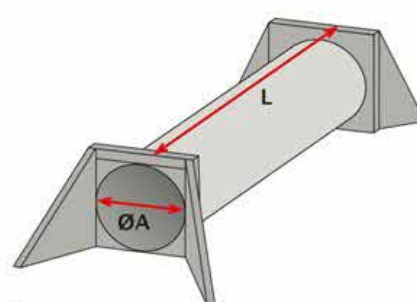
PASO INFERIOR



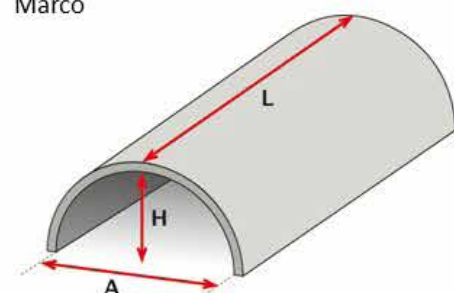
PASOS INFERIORES



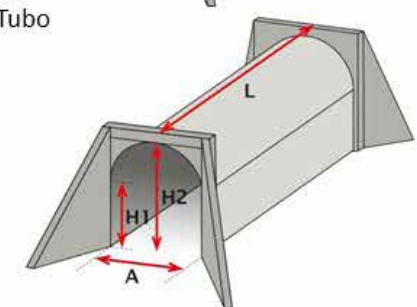
Marco



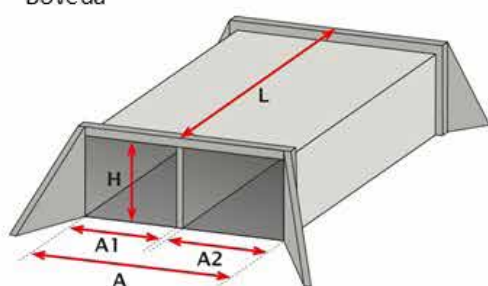
Tubo



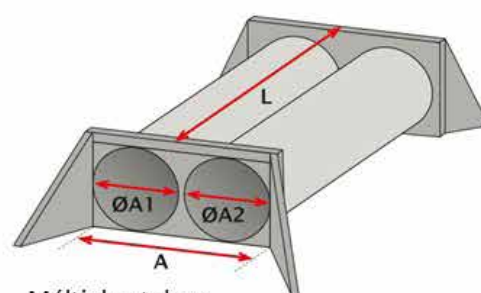
Bóveda



Bóveda con sección inferior rectangular

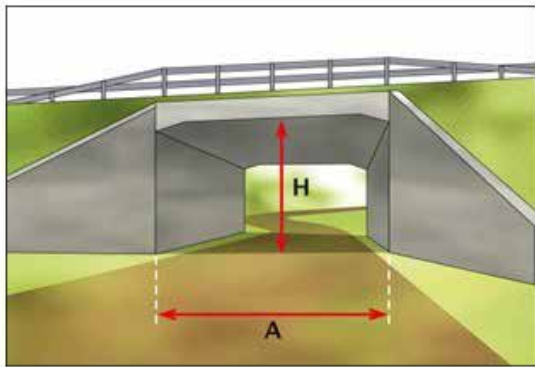


Múltiples - marcos

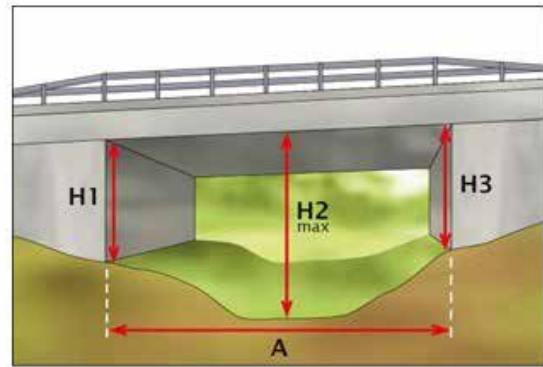


Múltiple - tubos

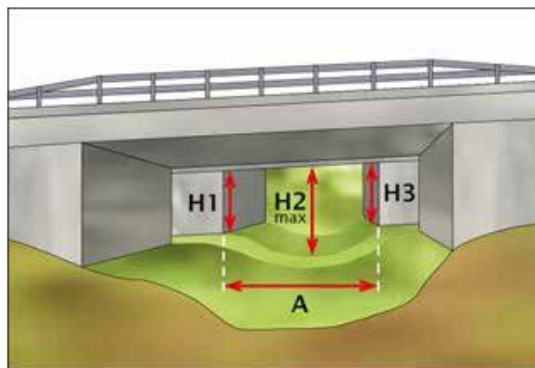
Figura 6. Indicaciones para obtener las dimensiones de distintos tipos de pasos de fauna y otras estructuras transversales. H: altura; A: anchura, corresponde a diámetro en estructuras cilíndricas; L: longitud. En el caso de los pasos inferiores, cuando se trate de estructuras multicelulares, además de las dimensiones del total de la estructura se obtendrán las de cada una de las celdas por separado. Ilustración: Ficha 14 del documento núm. 8 de esta misma serie (AT - Minuartia).



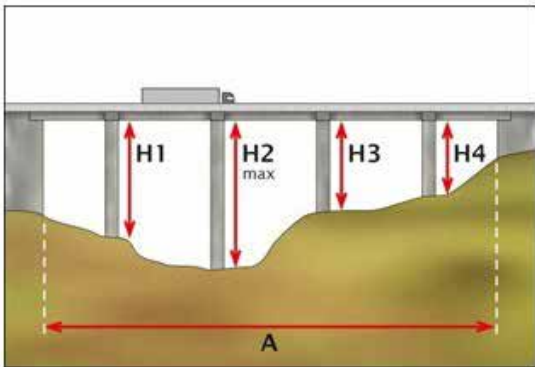
Pórtico



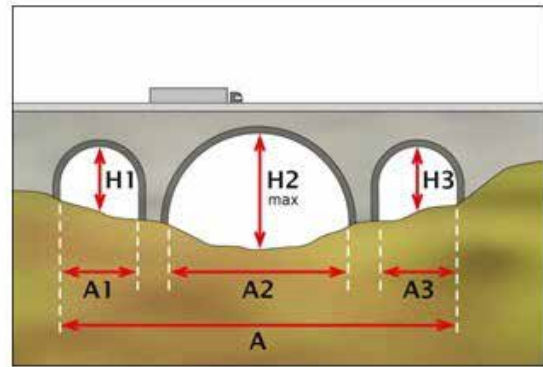
Tablero



Estructuras en dos vías adyacentes



Sobre pilas



Sobre arcos

Figura 7. Indicaciones para obtener las dimensiones de distintos tipos de estructuras inferiores a la vía. H: altura; A: anchura; L: longitud. En el caso de estructuras que presentan altura variable a lo largo de su extensión será necesario tomar diversas medidas (H1, H2, etc.) y registrar en las bases de datos como mínimo la altura máxima y la media. En el caso de viaductos soportados por pilas se obtendrá únicamente la anchura total, pero en caso de estructuras sobre arcos, muros o grandes tabiques se obtendrán también las anchuras de cada una de las celdas por separado. Ilustración: Ficha 14 del documento núm. 8 de esta misma serie (AT – Minuartia).

Tabla 3.3. Dimensiones prescritas para los **pasos de fauna superiores a la vía**, de aplicación a proyectos de nuevas vías de transporte. También constituyen la referencia para proyectos de desfragmentación que incluyan la modificación de estructuras transversales en vías en funcionamiento, con el objeto de habilitar nuevos pasos de fauna. Los grandes ecoductos y los pasos superiores contruidos mediante falsos túneles son elementos de la infraestructura verde que favorecen la adaptación al cambio climático. Además de conservar la conectividad pueden actuar como depósito de excedentes de excavación, evitando la necesidad de transporte a otros lugares, y reduciendo así la huella de carbono (y los costes) del proyecto.

Tipo de paso	Usos	Grupos de fauna de referencia ⁽¹⁾	Dimensiones del paso ⁽²⁾	
			Mínimas	Óptimas
Ecoducto	Específico para la fauna	Todos (excepto anfibios y acuáticos)	A: 80 m	---
Paso superior específico para grandes mamíferos	Específico para la fauna	Grandes Mamíferos	A: 20 m y $A / L > 0,8^{(3)}$	A: 40-50 m -
Paso superior multifuncional	Mixto Paso de fauna + camino o vía pecuaria	Grandes Mamíferos	A: 10 m y $A / L > 0,8^{(3)}$	A: 20-50 m -
Paso entre árboles	Específico para la fauna	Mamíferos arbo- rícolas (ardilla)	---	Diámetro cables: 4-10 cm Anchura pasarelas: 20-30 cm

¹ Para más información sobre los taxones que se incluyen en cada grupo de fauna de referencia, consultar apartado 3.3.3.

² A: Anchura; L: Longitud.

³ El requerimiento del criterio $A/L > 0,8$ podrá reducirse hasta un mínimo de $A/L > 0,4$ en los casos en que los que no fuera viable la construcción de una gran estructura y siempre que se justifique que ello no afectará corredores ecológicos o la conectividad entre hábitats de especies amenazadas (véase más información en el texto de este apartado).

Tabla 3.4. Dimensiones prescritas para los **pasos de fauna inferiores a la vía**, de aplicación a proyectos de nuevas vías de transporte. También constituyen la referencia para proyectos de desfragmentación que incluyan la modificación de estructuras transversales en vías en funcionamiento, con el objeto de habilitar nuevos pasos de fauna. En estos casos, pueden ser admisibles ciertas reducciones que se indican en la tabla. Los grandes viaductos y pasos inferiores son elementos de la infraestructura verde que, además de favorecer la conectividad ecológica, facilitan la adaptación al cambio climático, favoreciendo el desagüe en casos de grandes avenidas, reduciendo los riesgos de inundación en terrenos adyacentes y aumentando la resiliencia de la infraestructura.

Tipo de paso	Usos	Grupos de fauna de referencia ⁽¹⁾	Dimensiones del paso ^(2,3)				
			Mínimas (A x H)				Óptimas (A x H)
Viaducto	Multifuncional	Todos					
Paso inferior específico para grandes mamíferos	Específico para la fauna	Grandes Mamíferos	- Jabalí y corzo: 7 x 3,5 m⁽⁴⁾ Índice Apertura > 0,75 - Ciervo y otros ungulados, grandes carnívoros: 12 x 3,5 m Índice Apertura > 1,5 - En proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento: ▪ La altura puede reducirse hasta un mín. de 2,5 m, si no resulta viable la prescrita. ▪ Si van destinados exclusivamente a lince ibérico (Ficha 34): 4 x 1,5 m. Índice Apertura > 0,75				15 x 3,5 m
Paso inferior multifuncional	Mixto Paso de fauna + camino o vía pecuaria	Grandes Mamíferos	- Jabalí y corzo: 7 x 3,5 m⁽⁴⁾ Índice Apertura > 0,75 - Ciervo y otros ungulados, grandes carnívoros: 12 x 3,5 m Índice Apertura > 1,5				15 x 3,5 m
Paso inferior específico para pequeños vertebrados	Específico para la fauna	Pequeños Vertebrados	2 x 2 m - En proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento ▪ Si van destinados exclusivamente a mustélidos semi-acuáticos (Ficha 32): 1 x 1m				---
Drenaje adaptado para animales terrestres	Mixto Paso de fauna + drenaje	Pequeños Vertebrados	2 x 2m - En proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento ▪ Si van destinados exclusivamente a mustélidos semi-acuáticos (Ficha 32): 1 x 1m ▪ Si van destinados exclusivamente a lince ibérico (Ficha 34): 4 x 1,5 m				---
Drenaje adaptado para peces	Mixto Paso de fauna + drenaje	Peces	---				---
Pasos para anfibios	Específico para la fauna	Anfibios	Longitud (m)	<20	20-30	30-40	40-50
			Sección A x H (m)	1 x 0,75	1,5 x 1	1,75 x 1,25	2 x 1,5

¹ Para más información sobre los taxones que se incluyen en cada grupo de fauna de referencia, consultar apartado 3.3.3, criterio 3).

² A: Anchura; H: Altura; L: Longitud; Índice de Apertura: (AxH)/L.

En estructuras multicelulares, la anchura que se tomará como referencia es la del conjunto de la estructura, excepto en casos en los que las celdas estén separadas entre ellas por anchos muros; en estos casos se tomará la anchura de la celda de mayores dimensiones.

³ No es conveniente adecuar como pasos de fauna estructuras que superen los 70 m de longitud.

⁴ En proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento, cuando no sea posible alcanzar la altura recomendada (u obligue a realizar grandes cambios de rasante), se podrá reducir la altura hasta 2,5 m, respetando o ampliando si es posible, la anchura mínima.

3.4 Desfragmentación de hábitats y permeabilización de vías en funcionamiento

3.4.1 Conceptos básicos

Reducir los impactos sobre la biodiversidad de las vías de transporte en funcionamiento, restableciendo la conectividad ecológica en los hábitats afectados, es un aspecto que cobra interés en el marco de los proyectos de restauración ecológica que se ampliarán bajo el impulso del Reglamento 2024/1991 de Restauración de la Naturaleza, y de las actuaciones incluidas en los Programas quinquenales de Trabajo para la implementación de la Estrategia de Desfragmentación de Hábitats.

Si bien el presente documento se concibió inicialmente para su aplicación en el ámbito de los proyectos de nuevas vías de transporte, a lo largo de los años su aplicación se ha extendido a la mitigación de impactos de carreteras y ferrocarriles en funcionamiento, siendo de utilidad para diseñar medidas para reducir los conflictos (en particular atropellos y accidentes con implicación de fauna silvestre).

Por todo ello, en esta edición del documento se han ampliado las directrices para dar apoyo al diseño de medidas para la **desfragmentación de hábitats** afectados por vías de transporte. Este concepto se refiere al ‘conjunto de acciones destinadas a restaurar o aumentar la conectividad ecológica en territorios afectados por infraestructuras de transporte en funcionamiento’ y, en un sentido amplio, abarca todas aquellas actuaciones orientadas a mitigar los efectos negativos derivados de la fragmentación de hábitats, incluyendo acciones para prevenir atropellos de fauna, favorecer la conectividad ecológica o reducir las perturbaciones generadas por el tráfico, entre otras (véase apartado 2.2).

Uno de los principales impactos a mitigar en vías en funcionamiento es su **efecto barrera**, que se refiere al obstáculo que las infraestructuras lineales de transporte suponen para los

desplazamientos de los organismos a través del territorio, y en particular, entre sus hábitats. La intensidad de este impacto es variable en función de características físicas de las vías, y de su intensidad de tráfico, así como de la vulnerabilidad de los distintos organismos afectados, y constituye un impacto clave a reducir en los proyectos de desfragmentación de hábitats y restablecimiento de la conectividad ecológica.

En este marco, la Estrategia de Desfragmentación de Hábitats incluye un eje estratégico que se refiere a **‘Aumentar la permeabilidad de las infraestructuras y restablecer la conectividad ecológica’**. Este eje insta a desarrollar acciones como la elaboración de inventarios de estructuras transversales y la definición de criterios para la selección de estructuras con potencial de adaptación como pasos de fauna. Por ello, en este apartado se ofrecen recomendaciones destinadas a este propósito, así como para facilitar el diseño y ejecución de medidas de permeabilización en las vías de transporte durante su fase de funcionamiento.

La Estrategia de Desfragmentación invita a invertir parte de los presupuestos de gestión y mejora de vías en acciones de desfragmentación, que aportan beneficios para la biodiversidad. Además, el diseño de medidas compensatorias de nuevos proyectos de infraestructuras (véase apartado 2.3.2) también puede incluir actuaciones para reducir los impactos de las vías ya existentes en ese territorio. Finalmente, la implementación de medidas para la adaptación de las vías existentes al cambio climático también ofrece oportunidades para incluir acciones de desfragmentación de hábitats. Destacan en este sentido, la ampliación y mejora de drenajes, que puede contribuir a reducir la vulnerabilidad de las vías frente a inundaciones o grandes avenidas a la vez que favorece la conectividad ecológica. Una evaluación conjunta de los aspectos de adaptación al cambio climático y desfragmentación de hábitats puede mejorar la relación de coste-beneficio y facilitar el diseño de medidas que actúen de manera sinérgica, favoreciendo la resiliencia climática y reduciendo la pérdida de biodiversidad.

3.4.2 Definición de objetivos y selección del tramo de actuación

Identificar los objetivos concretos y seleccionar el tramo de intervención más adecuado, son pasos previos esenciales para el éxito de un proyecto de desfragmentación, y para una óptima elección de las medidas a aplicar.

Definición de objetivos

Para seleccionar los tramos de actuación y las estructuras transversales que pueden habilitarse como pasos de fauna para conseguir los mejores resultados, y una óptima relación coste/beneficio, es indispensable formular los objetivos que pretenden alcanzar las actuaciones, y que con frecuencia contemplan:

- La **reducción de atropellos y accidentes** con implicación de fauna, siendo imprescindible definir cuáles son las especies o taxones objetivo. Las actuaciones a llevar a cabo serán distintas si se trata de reducir la siniestralidad vial, donde las especies objetivo serán grandes mamíferos (en particular corzo, jabalí y otros ungulados, pero también grandes carnívoros, como el oso pardo) o si la finalidad es la reducción de atropellos de una determinada especie (p. ej. visón europeo o lince ibérico) o taxón (p. ej. anfibios, aves o murciélagos). En todo caso, la identificación de taxones de referencia es imprescindible, ya que tienen distintos requerimientos por lo que respecta a tipos de pasos de fauna y de vallados de conducción a los mismos. Además, determina la selección de los tramos de vía a permeabilizar, que deberán coincidir con aquellos que discurran por los hábitats a los que se asocia cada especie o taxón, y en particular, de zonas con mayor probabilidad de uso para la dispersión y/o que coincidan con tramos de concentración de atropellos.
- La **permeabilización de la vía al paso de fauna, y restauración de la conectividad** entre determinados ecosistemas o tipos de hábitats. En el primer caso se trata de disponer pasos de fauna adecuados para las especies objetivo, mientras que en el segundo se requiere dar continuidad a determinados hábitats o ecosistemas, a través de la vía. Todo ello condicionará la selección del tramo de vía a permeabilizar, así como si la estructura debe ser superior o inferior a la vía. Por ejemplo, los drenajes multifuncionales o viaductos adaptados son adecuados para restablecer corredores ecológicos asociados a cursos fluviales, o humedales, mientras que los ecoductos son más adecuados para restablecer la continuidad de otros hábitats no vinculados al agua, como pastos y matorrales.

Elección del tramo de actuación

Una vez definidos los objetivos, la identificación del tramo de actuación debe basarse en estudios que definan las áreas que requieren desfragmentación de hábitats, y con frecuencia, requiere de la elaboración de diagnósticos que evalúen los siguientes aspectos:

- Identificación de tramos de concentración de atropellos o accidentes con fauna, a partir del análisis de registros de incidentes, y con métodos adecuados para identificar y priorizar los tramos con mayor conflictividad.
- Identificación de los tramos de vías que crucen corredores ecológicos o hábitats vulnerables, o asociados a los taxones de referencia, que requieran permeabilización de la vía.
- Caracterización de los movimientos de los taxones de referencia, en cada situación, mediante telemetría y/o modelización de hábitat ('distancia de mínimo coste' u otros métodos).
- Distribución de los hábitats de los taxones objetivo en relación con la vía, mediante aplicación de modelos de máxima entropía u otros.

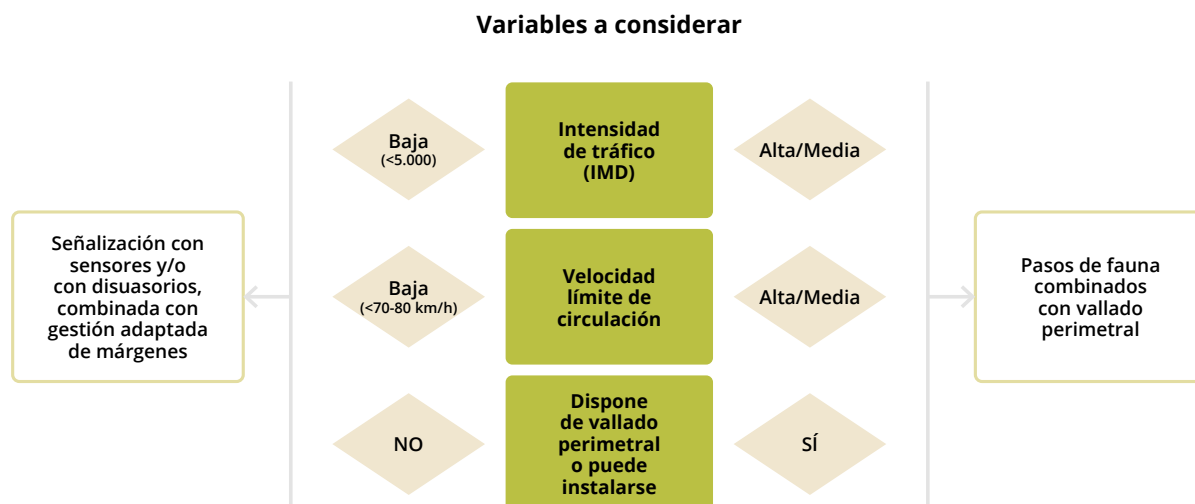


Figura 8. Criterios para la selección de la estrategia más adecuada para reducir los atropellos y permeabilizar las vías al paso de fauna silvestre, en función de características de la vía y su tráfico. La habilitación de pasos de fauna, modificando estructuras transversales existentes, y en combinación con vallados perimetrales son medidas de efectividad contrastada a largo plazo (si el diseño y el mantenimiento son adecuados). Por otra parte, la señalización combinada con sensores de fauna y otras soluciones tecnológicas, pueden ser las únicas opciones viables en vías convencionales en los que no es posible instalar cerramientos. Aunque tienen costes moderados de instalación, requieren altas inversiones en mantenimiento y reposición de equipos, y no garantizan su efectividad a medio y largo plazo.

Elección de medidas aplicables según los objetivos y las características del tramo de actuación

Algunas medidas para reducir atropellos y accidentes con fauna permiten conseguir este objetivo a costa de evitar el cruce de fauna silvestre (p.ej. si se instalan vallados sin combinarlos con pasos de fauna). Aunque se reducen los atropellos, aumenta el efecto barrera de la vía, y ello puede tener efectos letales para la conservación de determinadas poblaciones de fauna.

La Figura 8 muestra los criterios de apoyo para la selección del tipo de medidas a aplicar en los proyectos de desfragmentación.

- La **habilitación de pasos de fauna, combinada con vallados perimetrales** de conducción hacia los mismos, es la estrategia que mejor permite reducir al mismo tiempo, el riesgo de atropello y el efecto barrera de la vía. Su durabilidad y efectividad a largo plazo están plenamente contrastadas (si el diseño y el mantenimiento son correctos), y los costes de su mantenimiento son bajos. Estas actuaciones de desfragmentación son las que se describen en este apartado, y se complementan en la Ficha 13, que aporta di-

rectrices para adaptar estructuras transversales existentes de manera que permitan el cruce de fauna por un lugar seguro y/o la conexión de hábitats entre ambos lados de la vía (además, esta información complementa la de las Fichas 1 a 11, que describen cada tipo de paso de fauna, y la de las Fichas 14 a 17 sobre vallados perimetrales). Estas actuaciones son aplicables particularmente en ferrocarriles de alta velocidad, autopistas, autovías y carreteras convencionales que cuenten con una alta intensidad de tráfico y que dispongan de cerramiento perimetral, o en los que sea posible su instalación. Son idóneas para permeabilizar tramos de vía que discurran entre desmontes o sobre terraplén, mientras que en los tramos que discurren por zonas planas con frecuencia se requiere la construcción de nuevos pasos de fauna, revistiendo mayor complejidad.

- Cuando no sea viable la habilitación de pasos de fauna, se requerirá la instalación de **dispositivos de señalización y/o disuasión del cruce de fauna, combinados con una adecuada gestión de márgenes**, que permitan reducir la probabilidad que un animal cruce la vía al mismo tiempo que circula un

vehículo. Estas actuaciones (descritas en las Fichas 18 a 21) se están expandiendo con el desarrollo de tecnologías digitales, aunque algunas de ellas cuentan todavía con reducida información sobre sus efectos, por lo cual es necesario que se acompañen de un adecuado seguimiento y evaluación de su efectividad, no solo durante unos meses, sino a medio y largo plazo. Estas medidas son aplicables en vías convencionales, sin cerramiento perimetral, con baja o media intensidad de tránsito y reducida velocidad de circulación (idealmente inferior a 70-80 km/h). Los costes de instalación de estas medidas son moderados o bajos, pero conllevan altas inversiones en tareas de mantenimiento y reposición de equipos, que a medio plazo pueden superar los costes de adaptación de estructuras transversales como pasos de fauna.

3.4.3 Caracterización y criterios para la selección de las estructuras a adaptar como pasos de fauna

La reducción del efecto barrera de la vía requiere de la selección de estructuras que puedan ser utilizadas por la fauna para el cruce de la vía, así como de la instalación de vallados perimetrales de conducción de las especies hacia esas estructuras.

El proceso para definir las actuaciones destinadas a aumentar la permeabilidad de vías en funcionamiento mediante la adaptación de estructuras transversales como pasos de fauna, debe iniciarse formulando los objetivos concretos,

adaptados a cada caso, e identificando el tramo de actuación. A continuación, debe realizarse el inventario y evaluación de las estructuras transversales existentes en ese tramo para identificar aquellas con mayor potencial para la adaptación como pasos de fauna y, finalmente, deben diseñarse las adaptaciones concretas a llevar a cabo en esas estructuras (véase también Ficha 13). La Figura 9 resume el proceso a llevar a cabo.

Una vez identificados los tramos estratégicos de actuación, en relación con los objetivos que se establezcan en cada caso, se desarrollará un **proceso que incluye tres fases: i) inventario y caracterización** de las estructuras transversales existentes en el tramo o punto que requiere desfragmentación; ii) **selección de las estructuras transversales** más idóneas, en cuanto a ubicación y características de la estructura y su entorno, y iii) **diseño de las acciones de mejora** a aplicar en cada estructura para que pueda ser utilizada como paso de fauna y/o para la conexión de hábitats, además de su función primaria (drenaje o cruce de caminos).

La adaptación de estructuras transversales como pasos de fauna requiere, para alcanzar su máxima efectividad, de la instalación de vallados perimetrales adecuados (véanse Fichas 14 y 15) que conduzcan los flujos de movimientos de fauna hacia las estructuras designadas. Es por ello que estas medidas son aplicables, y particularmente necesarias, en vías que cuentan con cerramiento. No obstante, la conducción de fauna hacia los pasos también puede conseguirse con una adecuada integración paisajística, restauraciones diseñadas estratégicamente y/o incluyendo elementos lineales de conducción como paredes secas o setos densos (véase Ficha 12).



Figura 9. Fases del proceso para la permeabilización de vías en el contexto de proyectos de desfragmentación de hábitats, mediante la adaptación de estructuras transversales existentes como pasos de fauna.

Inventario y caracterización de las estructuras transversales existentes

- Tras la identificación del sector de la vía que requiere actuaciones de permeabilización, debe elaborarse el inventario de todas las estructuras transversales existentes en el tramo, incluyendo además de drenajes y pasos superiores e inferiores, los viaductos y túneles existentes en el tramo. Se partirá de la información siguiente (se facilitan distintas opciones, en función de disponibilidad):
 - inventario de estructuras transversales de la vía, facilitado por su titular o gestor;
 - proyecto constructivo o planos conforme a obra (documentos *as-built*);
 - cartografía de red viaria en la que pueden identificarse los túneles y los grandes viaductos;
 - otra información cartográfica complementaria.
- La caracterización de las estructuras se completará con inspecciones de campo para recabar los datos que sean necesarios, tanto relativos a la propia estructura como a su entorno (véase Figura 10; incluida en la Ficha 8 del documento *Prescripciones técnicas para hacer efectivos los seguimientos de las medidas de mitigación del efecto barrera de las infraestructuras de transporte* (MITERD, 2020) y las indicaciones de la Ficha 14 del mismo documento). Cabe destacar que, además de aspectos estructurales, como dimensiones, forma o sustrato de la base, es esencial considerar otras variables como los usos actuales de las estructuras y de su entorno, que pueden resultar determinantes para la efectividad de la estructura como paso de fauna ya que algunas actividades humanas, en la propia estructura o en su entorno, pueden resultar incompatibles con el paso de fauna.

- Cuando sea posible, los datos se gestionarán mediante herramientas digitales (p.ej.: *Building Information Modelling* (BIM)), integrando la información estructural y la ambiental en un mismo sistema. Ello permitirá seguir la evolución futura del paso de fauna, indicando los trabajos de acondicionamiento que se lleven a cabo, las actuaciones de mantenimiento, e incluso integrando los resultados del seguimiento que permitirán evaluar la efectividad de las actuaciones implementadas. Estos sistemas de bases de datos constituyen una sólida herramienta para facilitar la cooperación entre gestores de vías y de biodiversidad.
- Los inventarios de estructuras transversales deben incluir inicialmente la totalidad de las estructuras existentes en el tramo de estudio, aunque se descartarán (sea inicialmente, o a partir de trabajos de campo) las ‘estructuras sin potencial de adaptación’, es decir, aquellas que tengan características incompatibles con la función de paso de fauna y restauración de la conectividad ecológica (véase más información en el apartado ‘Diseño de actuaciones a llevar a cabo’ en la Ficha 13).

Selección de estructuras transversales para su adaptación

A continuación se detallan los criterios a aplicar para seleccionar aquellas estructuras transversales que puedan ofrecer un mejor balance entre el coste de las actuaciones de adaptación y los beneficios para la biodiversidad. La evaluación de estos parámetros debe hacerse atendiendo al objetivo que pretende alcanzar la desfragmentación, las especies y hábitats objetivo, y las características de la vía y de su entorno en el tramo de actuación.

Cabe la posibilidad que ninguna de las estructuras existentes en el tramo de actuación sea adecuada para su adaptación como paso de fauna. En ese caso deberá valorarse

la construcción de una nueva estructura o la implementación de otro tipo de medidas (Figura 8).

Localización

- La localización de los pasos es un factor clave para su efectividad, debiéndose priorizar para su adaptación las estructuras cuya ubicación sea lo más próxima posible a los lugares en los que se registran conflictos, o a lugares clave para la conectividad ecológica.
- En actuaciones orientadas a reducir los accidentes o atropellos de fauna y aumentar la permeabilidad de la vía deberán priorizarse:
 - Las estructuras situadas en los puntos críticos, con mayor concentración de atropellos y accidentes con fauna. Para ello se evaluarán los datos previos de colisiones con animales, para identificar los tramos de concentración, en los que se produce un mayor riesgo.
 - Las estructuras situadas en sectores utilizados recurrentemente por las especies objetivo, a partir del análisis de datos de individuos radiomarcados, frecuencia de avistamientos o presencia de sendas de acceso a las vías (para el caso de ungulados).
 - Las estructuras situadas en sectores de vías que disponen de hábitats idóneos para las especies objetivo a ambos lados, o que interceptan corredores ecológicos.
- Deberán descartarse las estructuras situadas en zonas urbanizadas debido a las elevadas perturbaciones derivadas de la presencia humana. Asimismo, se descartarán aquellas estructuras en cuyos alrededores existan otras actividades de elevado impacto, como pueden ser zonas extractivas, áreas recreativas, circuitos automovilísticos o campos de tiro, entre otras.

Usos de la estructura

- Dado que las estructuras existentes se construyeron con una función distinta a la del paso de fauna, como puede ser el drenaje y el cruce de caminos u otro tipo de vías, se seleccionarán estructuras cuyos usos sean compatibles con la presencia de fauna.
- Deberán priorizarse para su adaptación:
 - Drenajes, ya que los cursos de agua canalizan el movimiento de muchas especies de distintos grupos taxonómicos. Además, estas estructuras acostumbran a tener menor perturbación humana.
 - Pasos por los que discurren vías pecuarias, destinadas al paso de ganado, y que acostumbran a tener un elevado grado de naturalización. Estas vías son de obligada consideración en el desarrollo urbanístico, por lo que pueden ofrecer garantías para mantener su función a largo plazo.
 - Pasos de restablecimiento de caminos sin asfaltar y que cuenten con baja intensidad de tráfico, como caminos forestales o pasos por los que cruzan sendas excursionistas.
- Deberán descartarse:
 - Estructuras por las que discurran vías pavimentadas, particularmente aquellas con una intensidad de tráfico media o alta. El tráfico, además de causar perturbaciones a la fauna, genera situaciones de riesgo de accidentes.
 - Pasos inferiores en los que se produzca una alta perturbación por presencia de personas. En particular, no es recomendable adaptar pasos por los que cruzan caminos muy transitados por personas a pie o en vehículo, acompañadas de mascotas, o cuando el uso se produzca durante las horas crepusculares o por

la noche. En estructuras próximas a grandes núcleos de población algunas estructuras son utilizadas para pernoctar, organizar actividades recreativas u otros usos inadecuados que inhabilitan totalmente la estructura para su acondicionamiento como paso de fauna.

Dimensiones

- Se priorizarán para su adaptación las estructuras que cumplan con las dimensiones mínimas recomendadas para las especies objetivo (véase Tablas 3.3 y 3.4; apartado 3.3.4; Fichas 1 a 11).
 - En pasos inferiores destinados a facilitar el cruce de ungulados (jabalí, cérvidos) u otros mamíferos de gran tamaño, como el oso pardo, se priorizarán estructuras cuya anchura sea igual o superior a 7 m, y a ser posible que alcancen los 15 m. Aunque la altura recomendada es de 3,5 m, podrán adaptarse estructuras con un mínimo de 2,5 m, en particular en áreas sin presencia de ciervo. Alcanzar mayor altura podría requerir una elevación de la rasante que implicaría grandes movimientos de tierra, que pueden causar impactos notables en el entorno de las vías.
 - En pasos inferiores destinados a facilitar el cruce y reducir atropellos de pequeños vertebrados, se seleccionarán estructuras cuya anchura sea igual o superior a 2 m. Puede considerarse la adaptación de estructuras con una anchura inferior si las actuaciones van destinadas a evitar el atropello de mustélidos semiacuáticos (como el visón europeo o la nutria), u otros táxones con bajos requerimientos en lo que respecta a dimensiones (según Tabla 3.4).
 - En pasos superiores se priorizarán los que tengan anchuras superiores a 10 m, que permitan restaurar franjas revegetadas, o con sustrato natural, a ambos lados de la estructura.

- En general, y salvo casos excepcionales, deberán descartarse estructuras cuya longitud supere los 70 m.

Otras características estructurales

- También se descartarán para su adaptación:
 - Estructuras que presenten ángulos en su interior, impidiendo ver la boca opuesta de la estructura.
 - Estructuras con escalones u otros obstáculos en su interior que dificulten el paso de la fauna. Si no existiesen otras alternativas, la adaptación de estas estructuras deben conllevar la eliminación de estos obstáculos.
 - Los drenajes que cuenten con pozos en sus accesos.

Diseño de acciones de mejora

- Las actuaciones a implementar dependen del tipo de estructura. Las prescripciones técnicas para cada uno de los tipos se detallan en la Ficha 13.

Modelo de ficha de toma de datos

Caracterización de las estructuras transversales

Para la definición de las tipologías y la medición de las estructuras véanse Fichas 13 y 14.

Vía		Tramo		Código estructura		PK estructura	
Coordenadas (X,Y)							
Fecha inspección		Hora		Responsables de la inspección			
Tipo							
Función		Usos					
Específico	Mixto	Camino agrícola		Pista forestal	Carretera asfaltada	Drenaje	Otros:
Sección			Composición			Anchura de cada celda (m)	
Rectangular	Circular	Otra:	Simple	Doble	Triple	Otra:	
Longitud (m)		Anchura (m)		Altura (m)		Diámetro (m)	
						Índice de apertura	
Material de construcción				Material de la base del paso			
Hormigón	Chapa corrugada	Otro:		Hormigón	Chapa corrugada	Tierra	Otro:
Presencia de un cauce							
No	Temporal	Permanente	Profundidad de la lámina de agua (cm):				
Visibilidad de la boca opuesta				Sección transversal de la vía			
0 %	25 %	50 %	100 %	Otra:	plana	terraplén	desmonte
Presencia de banquetas laterales			Dimensiones banquetas laterales (cm)				
En ambos lados			Altura sobre la base del paso:		Altura sobre el nivel del agua:		
Sólo en un lado			Anchura:		Pendiente rampa acceso (°):		
Estructuras adicionales							
Barandilla	Vía de servicio	Arquetas	Mediana	Otras			
Cerramiento perimetral							
Inexistente	Mal ajustado a las aletas del paso			Huecos bajo la malla		Instalación correcta	
Comentarios:							
Acceso a la estructura							
Bajante escalonado; número escalones:				altura escalones (cm):			
Rampa encachado; pendiente (°):				Rampa hormigón; pendiente (°):			
Escollera; pendiente (°):				Pozo Otras			
Labores de revegetación (breve descripción)							
Vegetación circundante							
Embocadura A: Distancia a setos (m)				Distancia a masa forestal (m)			
Embocadura B: Distancia a setos (m)				Distancia a masa forestal (m)			
Especies detectadas en el paso							
Seguimiento realizado							
Método:				Período de seguimiento:			
Observaciones							

Figura 10. Modelo de ficha para la caracterización de estructuras transversales en vías en funcionamiento. En los inventarios también debe anotarse la distancia a las estructuras más próximas con potencial para el paso de fauna. Fuente: MITERD (2020).

	Estructuras a priorizar	Estructuras a descartar
1. LOCALIZACIÓN		
Hábitats adyacentes	✓ Hábitats de alta calidad para las especies objetivo ✓ Situadas en áreas de alto interés para la conectividad ecológica ✓ Ausencia de perturbaciones antrópicas cerca de los accesos	✗ Las estructuras con perturbaciones antrópicas o usos incompatibles, sea en las propias estructuras o en sus inmediaciones, no deben adaptarse como pasos de fauna.
Mortalidad de las especies objetivo	✓ Situadas en tramos de carreteras donde se han identificado agrupaciones de colisiones de vehículos con fauna.	
Presencia de especies objetivo (si la información está disponible, p. ej., mediante telemetría)	✓ Situadas en áreas usadas con mayor intensidad por las especies objetivo. Donde ambos lados de la carretera son usados por las especies objetivo, pero no se han registrado atropellos, debe llevarse a cabo una inspección detallada para verificar si i) ya existe una estructura adecuada que facilita el cruce, como un túnel, un viaducto u otra; o ii) si la adaptación de una estructura transversal existente podría beneficiar la viabilidad de la población.	
2. USOS		
Usos (funciones principales de las estructuras)	✓ Drenajes: particularmente cruces de ríos o pequeños cursos de agua ✓ Vías pecuarias ✓ Senderos y caminos peatonales ✓ Pistas forestales sin pavimentar	✗ Las carreteras pavimentadas con una intensidad de tráfico media-alta no deben adaptarse como pasos de fauna.
3. DIMENSIONES		
Anchura; Índice de apertura	✓ Estructuras que cumplan con las dimensiones mínimas recomendadas para las especies objetivo (véase Tablas 3.3 y 3.4; Fichas 1 a 11). En proyectos de desfragmentación es posible adaptar estructuras más pequeñas situadas en lugares estratégicos si se comprueba que las especies objetivo las están usando (estas vías forman parte del paisaje desde hace muchos años, es un caso distinto a vías de nueva construcción).	✗ Las estructuras que no cumplen con las dimensiones mínimas prescritas no deben adaptarse como pasos de fauna (véase Tablas 3.3 y 3.4).

Figura 11. Criterios para la selección de las estructuras transversales existentes en vías en funcionamiento que cuentan con mayor potencial de adaptación como pasos de fauna. Fuente: adaptado a partir de datos del proyecto LIFE Safe-Crossing.

3.5 Fichas descriptivas de medidas

Medidas destinadas a aumentar la conectividad ecológica

Pasos de fauna superiores a la vía

- Ficha 1: ECODUCTO
- Ficha 2: PASO SUPERIOR ESPECÍFICO PARA LA FAUNA
- Ficha 3: PASO SUPERIOR MULTIFUNCIONAL
- Ficha 4: PASO ENTRE ÁRBOLES

Pasos de fauna inferiores a la vía

- Ficha 5: VIADUCTO ADAPTADO
- Ficha 6: PASO INFERIOR ESPECÍFICO PARA GRANDES MAMÍFEROS
- Ficha 7: PASO INFERIOR MULTIFUNCIONAL
- Ficha 8: PASO INFERIOR ESPECÍFICO PARA PEQUEÑOS VERTEBRADOS
- Ficha 9: DRENAJE ADAPTADO PARA ANIMALES TERRESTRES
- Ficha 10: DRENAJE ADAPTADO PARA PECES
- Ficha 11: PASOS PARA ANFIBIOS

Nota: Los denominados ‘pasos de fauna a nivel’, que cuentan con señalización activada con sensores de fauna se incluyen en la Ficha 19.

Actuaciones aplicables a todos los tipos de pasos de fauna

- Ficha 12: ACONDICIONAMIENTO DE LOS ACCESOS Y SUPERFICIE DE LOS PASOS
- Ficha 13: ADAPTACIÓN DE ESTRUCTURAS PARA FACILITAR EL PASO DE FAUNA EN VÍAS EN FUNCIONAMIENTO

Medidas destinadas a aumentar la seguridad vial y reducir la mortalidad de fauna

Vallados perimetrales y sistemas asociados

- Ficha 14: VALLADOS PERIMETRALES PARA GRANDES MAMÍFEROS
- Ficha 15: VALLADOS PERIMETRALES PARA PEQUEÑOS VERTEBRADOS
- Ficha 16: SISTEMAS DE ESCAPE EN TRAMOS CON VALLADO PERIMETRAL
- Ficha 17: SISTEMAS PARA EVITAR EL ACCESO DE ANIMALES EN TRAMOS CON VALLADO PERIMETRAL

Señalización específica, adaptativa, o con apoyo de dispositivos electrónicos

- Ficha 18: REFUERZO DE LA SEÑALIZACIÓN DE ADVERTENCIA Y OTRAS MEDIDAS PARA REDUCIR LA VELOCIDAD
- Ficha 19: SEÑALIZACIÓN ACTIVADA POR SENSORES DE FAUNA

Dispositivos de disuasión del cruce de fauna

- Ficha 20: DISPOSITIVOS DISUASORIOS VISUALES Y ACÚSTICOS
- Ficha 21: DISUASORIOS OLFATIVOS

Gestión de márgenes y adaptación de la infraestructura

Ficha 22: GESTIÓN DE MÁRGENES Y MEDIANAS PARA REDUCIR ATROPELLOS DE FAUNA

Ficha 23: MEDIDAS PARA REDUCIR LA MORTALIDAD DE AVES

Ficha 24: SEÑALIZACIÓN DE PANTALLAS TRANSPARENTES Y VALLADOS PARA EVITAR LA COLISIÓN DE AVES

Ficha 25: ADAPTACIÓN DE ARQUETAS, CUNETAS Y OTROS ELEMENTOS QUE PUEDEN CAUSAR MORTALIDAD DE PEQUEÑOS ANIMALES

Medidas destinadas a favorecer la biodiversidad y la adaptación al cambio climático en hábitats asociados a las infraestructuras lineales de transporte

Gestión de hábitats asociados a las infraestructuras

Ficha 26: GESTIÓN DE HÁBITATS TERRESTRES ASOCIADOS A LAS INFRAESTRUCTURAS

Ficha 27: GESTIÓN DE SISTEMAS DE DRENAJE Y OTROS HÁBITATS ACUÁTICOS

Ficha 28: DETECCIÓN Y CONTROL DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS

Recomendaciones específicas para determinadas especies y grupos

Ficha 29: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA INSECTOS POLINIZADORES

Ficha 30: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA TORTUGAS TERRESTRES

Ficha 31: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA MURCIÉLAGOS

Ficha 32: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA MUSTÉLIDOS SEMIACUÁTICOS

Ficha 33: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA OSO PARDO

Ficha 34: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA LINCE IBÉRICO

Nota. - Además de revisar el conjunto de fichas del catálogo, en esta 3ª edición del documento se incluyen nuevas fichas respecto a la versión anterior. Concretamente se han incorporado 9 fichas:

- La Ficha 13 con prescripciones para adaptar estructuras existentes como pasos de fauna (aspecto esencial para la aplicación de medidas de desfragmentación).
- La Ficha 16 sobre sistemas de escape para tramos con cerramiento, que completa la actualización de las que incluyen las prescripciones sobre vallados perimetrales.
- Las Fichas 19 y 20 que incluyen nuevos sistemas para la prevención de atropellos y los accidentes con implicación de fauna silvestre.
- La Ficha 23 destinada específicamente a evitar mortalidad de aves.
- Las Fichas 26 a 28 que incluyen directrices para generar beneficios para la biodiversidad durante la fase de operación, que incluye la gestión y mantenimiento de las vías.
- La Ficha 29 que incluye recomendaciones específicas para insectos polinizadores.

Especies y grupos de referencia

- Adecuado para todo tipo de especies terrestres, incluyendo ungulados y grandes carnívoros. Constituye, además, un hábitat para invertebrados y otros pequeños organismos.

Otros grupos que pueden utilizarlo

- Anfibios, si se instalan cerramientos adecuados (véase Ficha 11) y presenta microhábitats con el grado de humedad que requiere este grupo.
- Con acondicionamientos adecuados puede orientar el vuelo de murciélagos, aves, insectos y otros organismos voladores, favoreciendo que puedan cruzar las vías. También facilitan desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan, así como de otros pequeños animales.

Uso de la estructura

- Paso de fauna y conexión de hábitats de ambos márgenes de las vías.
- Algunos usos antrópicos como el cruce de senderos, vías pecuarias o caminos, pueden ser compatibles si se integran adecuadamente en la estructura y no causan molestias a la fauna.

Características y prescripciones básicas

- Los ecoductos son pasos superiores a las infraestructuras que, gracias a sus grandes dimensiones y a la restauración de su superficie, permiten una óptima integración en el entorno, dando continuidad a la cobertura vegetal y a los hábitats situados a ambos lados de la infraestructura (Figura 1.1).



Generalitat de Catalunya - Minuartia

- Para garantizar su funcionalidad, el ecoducto deberá ubicarse en los sectores de desplazamiento habitual de fauna y en zonas con baja perturbación derivada de la actividad humana. Esta condición deberá mantenerse a lo largo de la fase de explotación de la vía, tanto en el propio ecoducto como en sus accesos.
- Los tramos en los que la vía discurre entre desmontes son los más adecuados para la ubicación de estas estructuras, ya que los accesos pueden situarse al mismo nivel que el terreno adyacente. Además, los ecoductos pueden contribuir a reducir la huella de carbono de la construcción de la infraestructura, ya que requieren el aporte de grandes volúmenes de materiales, pudiendo constituir puntos de depósito de excedentes de la excavación.
- Para facilitar el paso del mayor número posible de especies de fauna, se realizará una restauración completa de la superficie del ecoducto, de manera que se garantice la presencia de una heterogeneidad de hábitats y microhábitats similar a la de su entorno e incluyendo aquellos de mayor interés para especies escasas o en regresión. Para ello, deberá disponerse sobre la base de la estructura una capa de tierra vegetal (a ser posible procedente de la misma zona de actuación) con un grosor adecuado para permitir una correcta restauración de hábitats.
- Es importante reducir las molestias a la fauna causadas por las luces y el ruido de

los vehículos que circulen por la infraestructura. Con esta finalidad, en los márgenes laterales de la estructura se instalarán apantallamientos opacos o se realizarán plantaciones densas de arbustos.

- Un correcto drenaje de la superficie del ecoducto, con ligera pendiente (2-3 %) desde el eje longitudinal central de la estructura hacia los márgenes, así como la aplicación de una capa de material aislante que proteja la base de la estructura, son aspectos básicos para garantizar su durabilidad.

Dimensiones

- Anchura mínima: 80 m.
- Grosor mínimo de tierra vegetal para plantaciones de especies herbáceas: 0,3 m; y de arbustos: 0,6 m. No se aconseja la plantación de árboles en la superficie de la estructura.

Tipologías constructivas

- Falso túnel, bóveda, tablero y otras tipologías utilizadas para la construcción de puentes. El diseño en forma de diábolo amplía las posibilidades de que los animales localicen las entradas del paso (Figura 1.2 C). El mismo efecto se puede conseguir en diseños de planta rectangular, disponiendo los accesos en ángulo abierto (Figura 1.2B).

Acondicionamientos

- Para los acondicionamientos, tanto de accesos como de las superficies de los pasos, deberán seguirse las recomendaciones de la Ficha 12. En cualquier caso, en zonas con alto riesgo de incendios forestales se prestará especial atención para evitar plantaciones que contribuyan a facilitar la propagación de incendios. Asimismo, se extremarán las precauciones en los movimientos de tierra y revegetaciones, para evitar la introduc-

ción o favorecer la propagación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28).

Adecuación de la superficie de la estructura

- El diseño de las plantaciones en la superficie de la estructura deberá ser heterogéneo, combinando los espacios abiertos de los sectores centrales con franjas longitudinales de arbustos, más densas y altas, en los sectores próximos a los márgenes laterales de la estructura, para favorecer la orientación de vuelo de murciélagos y aves (Figura 1.1).
- Los procesos de gestión de suelos y de revegetación se realizarán aplicando protocolos que minimicen el riesgo de transporte e implantación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28). Para ello se utilizarán principalmente materiales de la propia zona, tanto por lo que respecta a suelos, como a plantas. Estas procederán siempre que sea posible, de viveros locales que utilicen ejemplares procedentes de la propia zona, o en todo caso, con garantías absolutas de bioseguridad. Cabe considerar la posibilidad de promover actuaciones específicamente destinadas a favorecer especies de flora escasas o incluidas en el 'Libro Rojo de la flora vascular amenazada'. También se evaluará la posibilidad de contar con especies que favorezcan a especies de insectos polinizadores.
- Siempre que sea posible, se utilizarán ejemplares de arbustos existentes en la zona antes de la construcción de la estructura. Las tierras provendrán también de esta zona y terrenos adyacentes, para aprovechar el banco de semillas y minimizar el riesgo de introducción de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28).
- Si se requieren elementos lineales de separación de usos se recurrirá a setos vegetales, paredes secas o cercas de madera que no interfieran los movimientos de fauna. Se evitará el uso de barreras de seguridad tipo biondas o similar.

- La disposición de montones o hileras de piedras y troncos a lo largo de la estructura ofrece refugios y microhábitats para la fauna y favorece la presencia de invertebrados, reptiles y otros pequeños animales. Estos elementos son particularmente útiles durante el período inicial en el que las revegetaciones no hayan alcanzado todavía su completo desarrollo. Otros elementos característicos de los paisajes en los que se integra la estructura, como muretes de piedra seca, pueden ejercer la misma función (Figura 1.9).

Pantallas y cerramiento perimetral

- El apantallamiento del paso para evitar las perturbaciones generadas por los vehículos se realizará mediante plantaciones densas de arbustos, o instalación de pantallas completamente opacas que darán continuidad al cerramiento perimetral en los márgenes del ecoducto. La altura mínima de las pantallas será de 2 m (Figura 1.5).
- Convendrá dejar un espacio entre el cerramiento perimetral y la primera hilera de vegetación más próxima al mismo, en su caso, para facilitar las labores de mantenimiento.
- Los materiales de construcción de las pantallas deberán garantizar una alta durabilidad, así como reducir la posibilidad de que puedan ser objeto de actos vandálicos. La madera tratada, el hormigón tintado o el metal pueden ser materiales adecuados (Figura 1.7).

Acondicionamiento de los accesos

- Se realizarán plantaciones y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a la fauna hacia las entradas del paso (véase Ficha 12). El tratamiento de los accesos debe favorecer su completa integración en el entorno y dar continuidad a las formaciones vegetales entre la superficie de la estructura y los hábitats de las zonas adyacentes. Se deberá prever, por ello, la expropiación de los terrenos necesarios

para restauración de hábitats que excederá la franja de dominio público de las vías, o bien, se establecerán acuerdos de custodia con sus propietarios.

- Los accesos deberán situarse al mismo nivel que los terrenos adyacentes aunque, para conseguir una óptima integración del ecoducto en su entorno, se adaptarán las condiciones topográficas, garantizando transiciones suaves entre la estructura y su entorno (Figura 1.4).
- En terrenos llanos los accesos deberán contar con rampas poco pronunciadas (pendiente máxima de un 15 %, pudiéndose elevar hasta el 25 % en los ecoductos situados en zonas con relieve montañoso).
- Deberá evitarse que carreteras transitadas discurran próximas o perpendiculares a las entradas del ecoducto, ya que dificultarían su uso por parte de la fauna y aumentaría el riesgo de generar tramos de concentración de accidentes causados por animales.
- Para atraer la fauna al ecoducto pueden restaurarse en sus accesos ciertos hábitats de interés, como pequeñas charcas que podrán ser utilizadas como punto de reproducción por los anfibios o abrevadero para otros animales (Figura 1.8). También pueden instalarse refugios para distintos grupos taxonómicos fomentando así, el uso de la estructura.
- La disposición de grandes bloques de piedra, troncos de árboles, o similar, en los accesos del paso permitirá evitar el acceso incontrolado de vehículos (Figura 1.13). Una alternativa a este sistema será la instalación de barreras transversales (p.ej., barras de madera o metálicas, situadas a una altura de unos 50-70 cm) que no obstaculicen el paso de fauna.
- Es recomendable señalar los accesos del paso, indicando, si es el caso, la prohibición de circulación de vehículos.

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Mantener los accesos libres de obstáculos para la fauna, y revisar que se mantienen en su lugar las rocas u otros elementos instalados para impedir el acceso de vehículos.
- Limpiar, reparar o reponer los paneles informativos o señalización en los accesos al paso.
- Realizar el adecuado mantenimiento de vallados de encauce y pantallas. En caso de vandalismo o robo de plafones de madera en las pantallas, evaluar la instalación de una placa metálica superior que dificulte la extracción de los plafones (véase Figura 13.5).
- Respecto a la conservación de la vegetación, debe evitarse el uso de fertilizantes y de productos tóxicos para el control de plagas. Durante los primeros años pueden ser indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación. No obstante, el uso de especies y ecotipos locales, adaptados a condiciones de aridez debería reducir la necesidad de aporte de agua.
- Programar siegas periódicas de vegetación adaptadas a las condiciones locales y para mantener un diseño óptimo para la fauna. Se requerirán desbroces para evitar el desarrollo excesivo de la vegetación arbustiva. En la superficie de la estructura se evitará un excesivo desarrollo de la cobertura vegetal, mientras que los accesos deberán mantener el diseño más apropiado para facilitar el encauce de animales hacía el paso, con mayor desarrollo de vegetación en ambos lados de la estructura, y dejando despejada la parte central del paso.
- El pastoreo controlado de ganado es una alternativa adecuada para el mantenimiento de la vegetación, aunque deberá garantizarse que se conservan (si las hubiera) las hileras de arbustos diseñadas para encauce o para guía de vuelo de aves y quirópteros. Hay que garantizar también que no se produce sobrepastoreo.
- Los refugios para fauna (hileras de fauna, tocones de árboles u otros) requieren bajo mantenimiento. Únicamente se supervisará que no se altera la disposición. En el caso de madera muerta no es necesaria su reposición, y se dejará que avance el proceso de descomposición natural.
- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en la estructura y su entorno, y en particular, evitar la instalación de vallados en fincas adyacentes que dificulten el acceso de los animales a la estructura, o el acceso de vehículos a zonas reservadas para la fauna. En caso de que se produzcan estos usos deberán definirse actuaciones correctoras adecuadas para evitar que la efectividad del ecoducto se vea reducida.



Figura 1.1. Esquema general de un ecoducto. Fuente: AT-Minuartia.

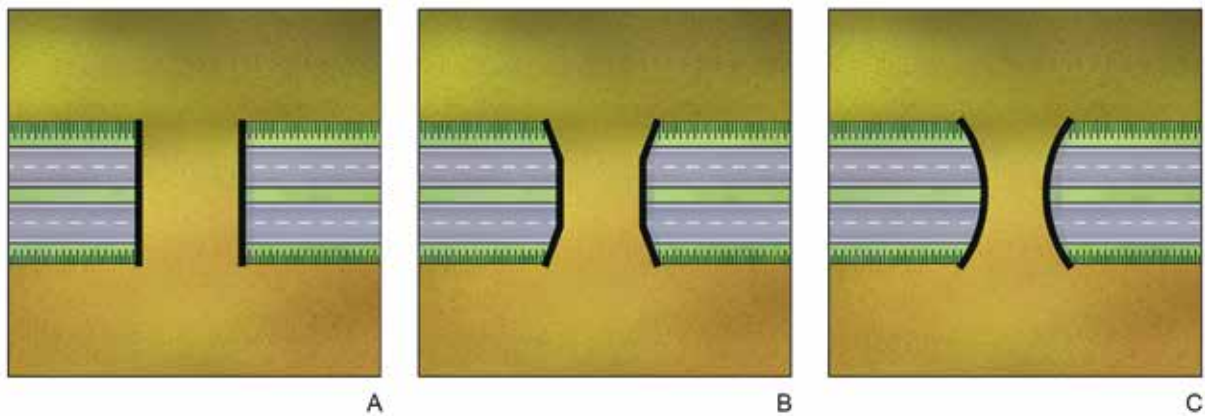


Figura 1.2. Alternativas de planta para el diseño de los ecoductos. Fuente: AT-Minuartia.



Figura 1.3. Bóvedas que permitieron la construcción del ecoducto en un vía en funcionamiento. Foto: H. Bekker.



Figura 1.4. La superficie y los accesos del ecoducto deberán tener perfiles topográficos similares a los del paisaje del entorno. Foto: Minuartia.

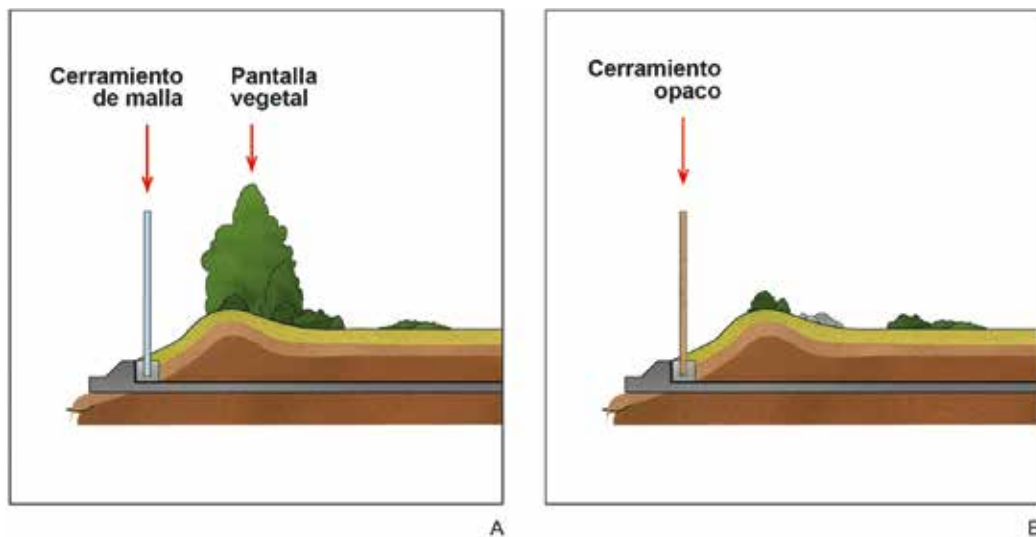


Figura 1.5. Detalles de la sección de un ecoducto que muestran opciones de apantallamiento. En A el cerramiento de malla se completa con una pantalla vegetal densa para reducir las perturbaciones de luz y ruido generados por los vehículos, mientras que en B (más adecuado en condiciones áridas) un cerramiento opaco desarrolla ambas funciones. Fuente: AT-Minuartia.



Figura 1.6. Pantalla vegetal para reducir las perturbaciones generadas por el tráfico. Foto: V. Hlavac.



Figura 1.7. Las pantallas de madera tratada o placas de hormigón tintado requieren menor mantenimiento que la vegetación. Foto: C. Rosell ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 1.8. Acondicionamientos como balsas e hileras de piedras permiten atraer diversos grupos faunísticos. Foto: Cerema ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 1.9. Muretes de paredes secas que ofrecen microhábitats para pequeños animales en los márgenes del ecoducto. Foto: S. Vanpee - Irstea.



Figura 1.10. En entornos con mosaicos agroforestales las restauraciones pueden incorporar incluso pastos o cultivos de secano, si así se requiere para dar continuidad a hábitats de alto interés existentes en los alrededores de la vía. Foto: Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya.



Figura 1.11. Los ecoductos permiten una restauración completa de la conectividad ecológica. Además, permiten depositar materiales excedentes de la excavación, reduciendo los costes y la huella de carbono del proyecto. Foto: GIASA. Junta de Andalucía.



Figura 1.12. La instalación de piedras o troncos en los accesos de los ecoductos impide la entrada de vehículos al mismo. Otra opción es instalar barreras de postes de madera o metálicas dispuestas a una altura adecuada y con señalización indicando la prohibición de circulación de vehículos. Foto: ADIF - Minuartia.

Especies y grupos referencia

- Ungulados y grandes carnívoros (oso, lobo y lince ibérico).

Otros grupos que pueden utilizarlo

- El resto de fauna terrestre.
- Anfibios, si se instalan cerramientos adecuados (véase Ficha 11) y presenta microhábitats con el grado de humedad que requiere este grupo.
- Con acondicionamientos adecuados puede orientar el vuelo de murciélagos, aves, insectos y otros organismos voladores, favoreciendo que puedan cruzar las vías. También facilitan desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan, así como de invertebrados y otros pequeños organismos.

Uso de la estructura

- Exclusivo para la fauna.

Características y prescripciones básicas

- Los pasos superiores específicos para la fauna son estructuras que presentan una restauración completa de su superficie y en los que no se admiten otros usos distintos al paso de fauna, evitando así las perturbaciones generadas por la actividad humana.
- La principal diferencia entre este tipo de pasos y los ecoductos es que disponen de menor anchura, lo cual impone limitaciones para la restauración de hábitats. Por ello, mientras que la función primordial del ecoducto es conectar hábitats entre ambos márgenes de la vía, estos pasos tienen como función facilitar un lugar de cruce



Minuartia

para la fauna, aunque no se alcance una completa continuidad de los hábitats.

- Para garantizar la funcionalidad del paso, deberá ubicarse en los sectores de desplazamiento habitual de fauna y en zonas con baja perturbación derivada de la actividad humana. Esta condición deberá mantenerse a lo largo de la fase de explotación de la vía, tanto en el propio paso como en sus accesos.
- Los tramos en los que la vía discurre entre desmontes son los más adecuados para la ubicación de estas estructuras, ya que los accesos pueden situarse al mismo nivel que el terreno adyacente. Además, los pasos superiores específicos pueden contribuir a reducir la huella de carbono de la construcción de la infraestructura, si se construyen mediante bóvedas sobre las que pueden disponerse grandes volúmenes de materiales, excedentes de la excavación.
- Es importante reducir las molestias a los animales causadas por las luces y el ruido de los vehículos que circulen por la infraestructura. Con esta finalidad, en los márgenes laterales de la estructura se instalarán apantallamientos opacos (Figura 2.6) o se realizarán plantaciones densas de arbustos.
- Un correcto drenaje de la superficie del paso superior, con ligera pendiente (2-3 %) desde el eje longitudinal central de la estructura hacia los márgenes, así como la aplicación de una capa de material aislante que proteja la base de la estructura, son aspectos básicos para garantizar su durabilidad.

Dimensiones

- Anchura mínima: 20 m y relación anchura/longitud superior a 0,8.
- Anchura recomendada: 40-50 m.
- Altura de la pantalla lateral: 2 m.
- Grosor mínimo de tierra vegetal para plantaciones herbáceas: 0,3 m; para plantaciones de arbustos: 0,6 m.

Tipologías constructivas

- La tipología constructiva será similar a la de un ecoducto, de falso túnel, tablero u otras tipologías utilizadas para la construcción de puentes. El diseño en forma de diábolo amplía las posibilidades de que los animales localicen los accesos al paso. El mismo efecto se puede conseguir en diseños de planta rectangular, disponiendo los accesos en ángulo abierto.

Acondicionamientos

- Para los acondicionamientos, tanto de accesos como de las superficies de los pasos, deberán seguirse las recomendaciones de la Ficha 12. En cualquier caso, en zonas con alto riesgo de incendios forestales se prestará especial atención para evitar plantaciones que contribuyan a facilitar la propagación del fuego.

Asimismo, se extremarán las precauciones en los movimientos de tierra y revegetaciones, para evitar la introducción o favorecer la propagación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28).

Adecuación de la superficie del paso

- El diseño de las plantaciones en la superficie de la estructura deberá ser heterogéneo, combinando los espacios abiertos de los sectores centrales, con franjas longitudinales de arbustos, más densas y altas, en los sectores próximos a los márgenes

laterales de la estructura, para favorecer la orientación de vuelo de murciélagos y aves (Figura 2.1).

- Los procesos de gestión de suelos y de revegetación se realizarán aplicando protocolos que minimicen el riesgo de transporte e implantación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28). Para ello se utilizarán principalmente materiales de la propia zona, tanto por lo que respecta a suelos, como a plantas. Estas procederán siempre que sea posible, de viveros locales que utilicen ejemplares procedentes de la propia zona, o en todo caso, con garantías absolutas de bioseguridad. Cabe considerar la posibilidad de promover actuaciones específicamente destinadas a favorecer especies de flora escasas o incluidas en el 'Libro Rojo de la flora vascular amenazada'. También se evaluará la posibilidad de contar con especies que favorezcan a especies de insectos polinizadores.
- Siempre que sea posible, se utilizarán ejemplares de arbustos existentes en la zona antes de la construcción de la estructura. Las tierras provendrán también de esta zona y terrenos adyacentes, para aprovechar el banco de semillas y minimizar el riesgo de introducción de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28).
- En estructuras situadas en ambientes áridos el mantenimiento de la vegetación puede ser inviable, a no ser que se utilicen especies muy resistentes a la sequía. En estos casos la instalación de estructuras inertes como hileras de piedras o tocones de árboles facilitarán refugio a los animales de menor tamaño en los sectores laterales del paso (Figuras 2.2 y 1.9).

Pantallas y cerramiento perimetral

- Se instalarán pantallas opacas en los márgenes laterales del paso que deberán mantener una completa continuidad con el cerramiento perimetral de la vía (Figuras 2.3). Su altura mínima será de 2 m.

- Convendrá dejar un espacio entre el cerramiento perimetral y la primera hilera de vegetación más próxima al mismo, en su caso, para facilitar las labores de mantenimiento.
- Los materiales de construcción de las pantallas deberán garantizar una alta durabilidad, así como reducir la posibilidad de que sean objeto de actos vandálicos. La madera tratada, el hormigón tintado o el metal pueden ser materiales adecuados (Figuras 2.7 y 1.7).
- En los pasos de grandes dimensiones, las pantallas laterales opacas pueden sustituirse por pantallas constituidas por plantaciones densas de arbustos que minimicen las perturbaciones generadas por la circulación de vehículos en la vía y que se acompañaran de cerramientos de malla.

Acondicionamientos de los accesos

- Se realizarán plantaciones y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a la fauna hacia las entradas del paso (véase Ficha 12). El tratamiento de los accesos debe favorecer su completa integración en el entorno y dar continuidad a las formaciones vegetales entre la superficie de la estructura y los hábitats de las zonas adyacentes. Se deberá prever, por ello, la expropiación de los terrenos necesarios para restauración de hábitats que excederá la franja de dominio público de las vías, o bien, se establecerán acuerdos de custodia con sus propietarios.
- Los accesos deberán situarse al mismo nivel que los terrenos adyacentes aunque, para conseguir una óptima integración del paso en su entorno, se adaptarán las condiciones topográficas, garantizando transiciones suaves entre la estructura y su entorno.
- En terrenos llanos los accesos deberán contar con rampas poco pronunciadas (pendiente máxima de un 15 %, pudiéndose elevar hasta el 25 % en zonas con relieve montañoso; Figura 2.5).
- Deberá evitarse que carreteras transitadas discurran próximas o perpendiculares a las entradas del paso, ya que dificultarían su uso por parte de la fauna y aumentaría el riesgo de generar tramos de concentración de accidentes causados por animales.
- Para atraer la fauna al paso pueden restaurarse en sus accesos ciertos hábitats de interés, como pequeñas charcas que podrán ser utilizadas como punto de reproducción por los anfibios o abrevadero para otros animales (Figura 1.8). También pueden instalarse refugios para distintos grupos taxonómicos fomentando el uso de la estructura (Figura 2.2.).
- La disposición de grandes bloques de piedra, troncos de árboles, o similares, en los accesos del paso permitirá evitar el acceso incontrolado de vehículos. Una alternativa a este sistema será la instalación de barreras transversales (p. ej., barras de madera o metálicas situadas a una altura de unos 50-70 cm) que no obstaculicen el paso de fauna (Figura 1.11).
- Es recomendable señalar los accesos del paso, indicando la prohibición de circulación de vehículos.

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Mantener los accesos libres de obstáculos para la fauna, y revisar que se mantienen en su lugar las rocas u otros elementos instalados para impedir el acceso de vehículos.
- Realizar el adecuado mantenimiento de vallados de encauce y pantallas. En caso de vandalismo o robo de plafones de madera en las pantallas, evaluar la instalación de una placa metálica superior que dificulte la extracción de los plafones (véase Figura 13.5).
- Respecto a la conservación de la vegetación, debe evitarse el uso de fertilizantes y de productos tóxicos para el control de

plagas. Durante los primeros años pueden ser indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación. No obstante, el uso de especies y ecotipos locales, adaptados a condiciones de aridez debería reducir la necesidad de aporte de agua.

- Programar siegas periódicas de vegetación adaptadas a las condiciones locales y para mantener un diseño óptimo para la fauna. Se requerirán desbroces para evitar el desarrollo excesivo de la vegetación arbustiva. En la superficie de la estructura se evitará un excesivo desarrollo de la cobertura vegetal, mientras que los accesos deberán mantener el diseño más apropiado para facilitar el encauce de animales hacia el paso, con mayor desarrollo de vegetación en ambos lados de la estructura, y dejando despejada la parte central del paso.
- El pastoreo controlado de ganado es una alternativa adecuada para el mantenimiento de la vegetación, aunque deberá garantizarse que se conservan (si las hubiera) las hileras de arbustos diseñadas para encauce o para guía de vuelo de aves y quirópteros. Hay que garantizar también que no se produce sobrepastoreo.
- Los refugios para fauna (hileras de fauna, tocones de árboles u otros) requieren bajo mantenimiento, únicamente se supervisará que no se altera la disposición. En el caso de madera muerta no es necesaria su reposición, y se dejará que avance el proceso de descomposición natural.
- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en la estructura y su entorno, y en particular, evitar la instalación de vallados en fincas adyacentes que dificulten el acceso de los animales a la estructura, o el acceso de vehículos a zonas reservadas para la fauna. En caso de que se produzcan estos usos deberán definirse actuaciones correctoras adecuadas para evitar que la efectividad del ecoducto se vea reducida.

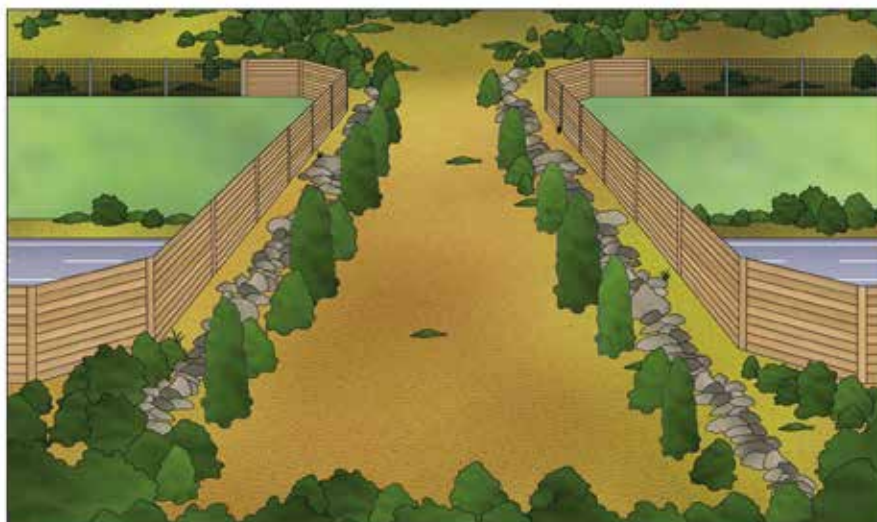


Figura 2.1. Esquema general de un paso superior específico para la fauna. Fuente: AT-Minuarta.



Figura 2.2. Paso superior con diversas medidas de acondicionamiento de refugios que favorecen su uso por parte de pequeños animales. Foto: Foto: S. Vanpee - Irstea.



Figura 2.3. La instalación de pantallas opacas permite mitigar los impactos de luz y ruido causados por el tráfico asociado a la infraestructura. Foto: Comunidad de Madrid.



Figura 2.4. Paso situado en un tramo entre desmontes que permite depositar materiales excedentes de la excavación. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 2.5. Paso situado en un terreno llano, con rampas de acceso con ligera pendiente. Foto: P. Farkas.



Figura 2.6. Los ecoductos y pasos superiores pueden realizarse aplicando múltiples tipologías constructivas. La que muestra la imagen reduce los materiales y movimientos de tierras necesarios para su construcción. Foto: Agencia de Obras Públicas, Junta de Andalucía (‘IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook’).



Figura 2.7. Las pantallas pueden utilizarse como soporte para informar a las personas usuarias de la vía sobre actuaciones para favorecer la biodiversidad. Foto: C. Rosell.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 2.8. Aislamiento de la base de la estructura y drenaje de su superficie. Foto: C. Rosell.



Figura 2.9. Circulación motorizada por un paso superior específico para la fauna y pantalla lateral que no es completamente opaca. Foto: C. Rosell.

Especies y grupos de referencia

- Ungulados y grandes carnívoros (oso, lobo y lince ibérico).

Otros grupos que pueden utilizarlo

- El resto de mamíferos y reptiles.
- Con acondicionamientos adecuados puede orientar el vuelo de murciélagos, aves, insectos y otros organismos voladores, favoreciendo que puedan cruzar las vías. También facilitan desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan, así como de invertebrados y otros pequeños organismos.

Uso de la estructura

- Mixto: Paso de fauna y sendero, vía pecuaria o camino con baja intensidad de tráfico.

Características y prescripciones básicas

- Los pasos superiores para la restitución de caminos o vías pecuarias pueden adaptarse fácilmente al paso de fauna silvestre, y pueden ser muy efectivos si presentan una baja intensidad de tránsito y poca perturbación generada por actividades humanas.
- Las modificaciones consistirán, básicamente, en mantener la base de la plataforma con sustrato natural o, como mínimo, mantener dos franjas laterales cubiertas con sustrato natural y, a ser posible, revegetadas, a cada lado de la superficie pavimentada.
- Es importante reducir las molestias a los animales causadas por las luces y el ruido de los vehículos que circulen por la infraestructura. Para ello, se instalarán pantallas opacas, de madera tratada o placas de hormigón tinto si se requiere mayor durabilidad, en los márgenes laterales de la estructura.



Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya

Dimensiones

- Anchura mínima: 10 m y relación anchura / longitud superior a 0,8.
- Anchura recomendada: 20–50 m.
- Anchura mínima de las bandas laterales revegetadas o con sustrato natural: 1 m.
- Altura de la pantalla lateral: 2 m.
- Grosor mínimo de tierra vegetal para plantaciones herbáceas: 0,3 m; para plantaciones de arbustos: 0,6 m.

Acondicionamientos

- Para los acondicionamientos, tanto de accesos como de las superficies de los pasos, deberán seguirse las recomendaciones de la Ficha 12. En cualquier caso, en zonas con alto riesgo de incendios forestales se prestará especial atención para evitar plantaciones que contribuyan a facilitar la propagación del fuego. Asimismo, se extremarán las precauciones en los movimientos de tierra y revegetaciones, para evitar la introducción o favorecer la propagación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28).

Adecuación de la superficie del paso

- Si la estructura comparte el paso de fauna con la circulación de vehículos, la superficie central puede estar pavimentada o cubierta de zahorra, pero las franjas laterales deberán recubrirse con tierra vegetal

y, cuando sea viable, realizar plantaciones herbáceas o de arbustos altos en los márgenes laterales de la estructura para favorecer la orientación de vuelo de murciélagos, aves, mariposas y otros organismos voladores (Figuras 3.1 y 3.2).

- Si se requieren elementos lineales de separación de usos se recurrirá a setos vegetales, paredes secas o cercas de madera que no interfieran los movimientos de fauna. Se evitará el uso de barreras de seguridad tipo biondas o similar (Figura 3.3).
- El camino se ubicará en el eje central de la estructura (Figura 3.2 A y B) o en uno de sus márgenes si se dispone de una gran anchura. En este caso se acondicionará una banda naturalizada de 2 m de anchura como mínimo entre el camino y las pantallas (Figura 3.2 C).
- Si se realizan revegetaciones, se utilizarán exclusivamente especies autóctonas y características de los hábitats del entorno, de la misma región de procedencia y seleccionando las que muestren mayor capacidad de adaptación a las condiciones de la superficie de la estructura y, particularmente, resistencia a la aridez. También se evaluará la posibilidad de contar con especies que favorezcan a especies de insectos polinizadores.
- Siempre que sea posible, las tierras provendrán de terrenos adyacentes, para aprovechar el banco de semillas y minimizar el riesgo de introducción de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28).

En infraestructuras situadas en ambientes áridos el mantenimiento de la vegetación puede ser inviable. En estos casos los muretes de pared seca o hileras de piedras en las franjas laterales facilitarán refugio a los animales de menor tamaño y orientarán los desplazamientos de fauna (Figura 3.2 A).

Pantallas y cerramiento perimetral

- Se instalarán pantallas opacas en los márgenes laterales del paso que deberán

mantener una completa continuidad con el cerramiento perimetral de la vía (Figura 2.5). Su altura mínima será de 2 m.

- Convendrá dejar un espacio entre el cerramiento perimetral y la primera hilera de vegetación más próxima al mismo, en su caso, para facilitar las labores de mantenimiento.
- Los materiales de construcción de las pantallas deberán garantizar una alta durabilidad, así como reducir la posibilidad de que sean objeto de actos vandálicos. La madera tratada, el hormigón tintado o el metal pueden ser materiales adecuados (Figuras 2.7 y 1.7).

Acondicionamientos de los accesos

- Se realizarán plantaciones y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a la fauna hacia las franjas laterales destinadas al paso de fauna (véase Ficha 12).
- Los accesos deberán situarse al mismo nivel que los terrenos adyacentes aunque, para conseguir una óptima integración del paso en su entorno, se adaptarán las condiciones topográficas, garantizando transiciones suaves entre la estructura y su entorno.
- En terrenos llanos los accesos deberán contar con rampas poco pronunciadas (pendiente máxima de un 15 %, pudiéndose elevar hasta el 25 % en zonas montañosas; Figura 2.5).
- Deberá evitarse que carreteras transitadas discurran próximas o perpendiculares a las entradas del paso, ya que dificultarían su uso por parte de la fauna y aumentaría el riesgo de generar tramos de concentración de accidentes causados por animales.
- Convendrá hacer las gestiones adecuadas para evitar que planeamientos urbanísticos posteriores comprometan la funcionalidad del paso.

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Mantener los accesos libres de obstáculos para la fauna, y revisar que se mantienen en su lugar las rocas u otros elementos instalados para impedir el acceso de vehículos.
- Realizar el adecuado mantenimiento de vallados de encauce y pantallas. En caso de vandalismo o robo de plafones de madera en las pantallas, evaluar la instalación de una placa metálica superior que dificulte la extracción de los plafones (véase Figura 13.5).
- Respecto a la conservación de la vegetación, debe evitarse el uso de fertilizantes y de productos tóxicos para el control de plagas. Durante los primeros años pueden ser indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación. No obstante, el uso de especies y ecotipos locales, adaptados a condiciones de aridez debería reducir la necesidad de aporte de agua.
- Mantener los elementos separadores (si los hubiera) de las franjas revegetadas respecto a las zonas destinadas al paso de vehículos. No es indispensable que cuenten con barandillas o bordillos separadores de las dos zonas, por lo cual, puede prescindir de estos elementos en caso de que generen problemas.
- Programar siegas periódicas de vegetación adaptadas a las condiciones locales y para mantener un diseño óptimo para la fauna. Se requerirán desbroces para evitar el desarrollo excesivo de la vegetación arbustiva. En la superficie de la estructura se evitará un excesivo desarrollo de la cobertura vegetal, mientras que los accesos deberán mantener el diseño más apropiado para facilitar el encauce de animales hacia el paso, con mayor desarrollo de vegetación

en ambos lados de la estructura, y dejando despejada la parte central del paso.

- El pastoreo controlado de ganado es una alternativa adecuada para el mantenimiento de la vegetación, aunque deberá garantizarse que se conservan (si las hubiera) las hileras de arbustos diseñadas para encauce o para guía de vuelo de aves y quirópteros. Hay que garantizar también que no se produce sobrepastoreo.
- Los refugios para fauna (hileras de fauna, tocones de árboles u otros) requieren bajo mantenimiento. Únicamente se supervisará que no se altera la disposición. En el caso de madera muerta no es necesaria su reposición, y se dejará que avance el proceso de descomposición natural.
- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en la estructura y su entorno, y en particular, evitar la instalación de vallados en fincas adyacentes que dificulten el acceso de los animales a la estructura, o el acceso de vehículos a zonas reservadas para la fauna. En caso de que se produzcan estos usos deberán definirse actuaciones correctoras adecuadas para evitar que la efectividad del ecoducto se vea reducida.



Figura 3.1. Esquema general de un paso superior multifuncional. Fuente: AT-Minuarta.

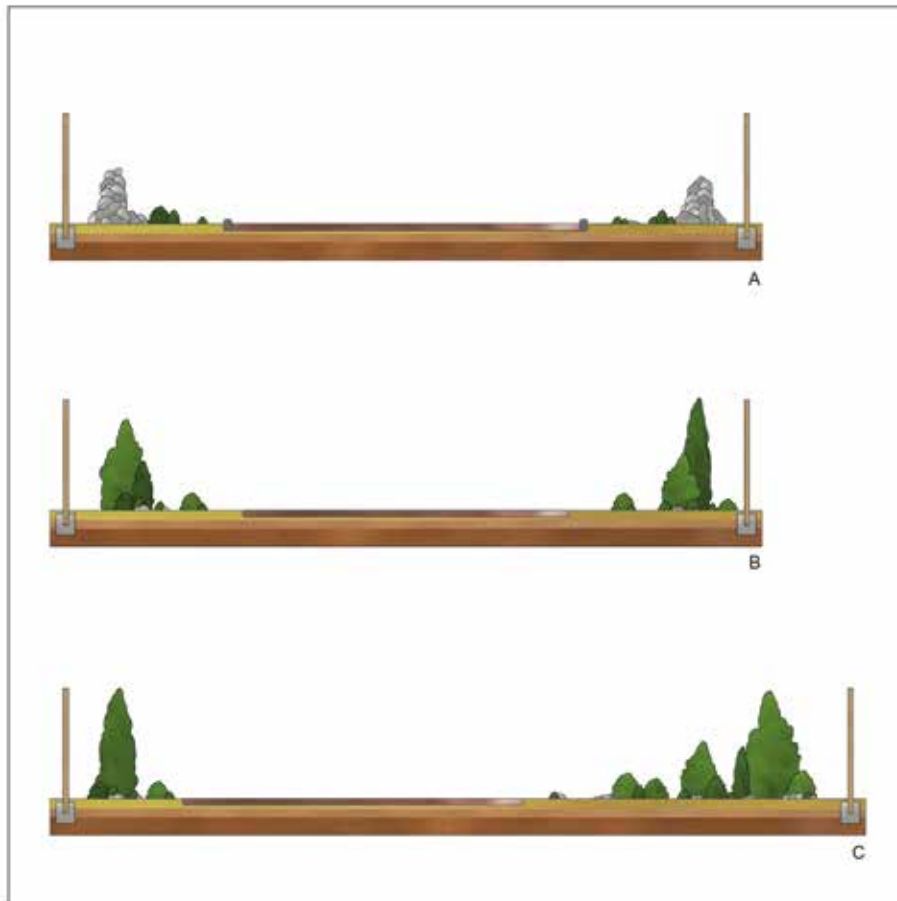


Figura 3.2. Disposición de los caminos y acondicionamiento de márgenes en un paso superior multifuncional. Los caminos se dispondrán en el sector central (A y B) y en caso de que se disponga de gran anchura el camino se dispondrá en uno de los márgenes si bien con una franja naturalizada entre ellos (C). En pasos situados en zonas áridas la vegetación puede sustituirse por muretes de paredes secas o hileras de piedras que orientan los desplazamientos de fauna a la vez que facilitan refugios para pequeños animales (A). Fuente: AT-Minuarta.



Figura 3.3. Paso superior con camino en el sector central de la estructura y dos franjas laterales revegetadas para la fauna. Foto: Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya.



Figura 3.4. Zorro utilizando un paso superior. Foto: ADIF.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 3.5. Paso que podría haber sido acondicionado para la fauna colocando pantallas de madera y con una revegetación completa de las franjas laterales. Foto: F. Navàs.



Figura 3.6. La franja lateral destinada a la fauna debería estar cubierta de tierras, pero en este caso se han utilizado gravas. Además, la ubicación es poco adecuada debido a la proximidad de edificaciones. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos de referencia

- Ardillas (*Sciurus vulgaris*) y otros mamíferos de hábitos arborícolas.

Uso de la estructura

- Exclusivo para la fauna.

Características y prescripciones básicas

- Paso muy específico cuya utilidad se centra básicamente en reducir los atropellos de mamíferos arborícolas, en tramos concretos en los que una carretera cruce una zona forestal. También pueden ser aplicables en zonas periurbanas o en entornos urbanos rurales en los que se hayan detectado tramos de alta concentración de atropellos de estas especies.
- Consiste en la instalación de puentes de malla (Figura 4.1 A) o la suspensión de cables (Figura 4.1 B), que permitan el paso de los animales entre las ramas de los árboles o postes situados a ambos lados de la vía. En vías de alta capacidad es posible instalar plataformas para el paso de fauna en estructuras de soporte a señalización viaria (Figura 4.1 C).
- En carreteras locales y vías de ferrocarril convencional puede utilizarse una cuerda, madera o plataforma instalada entre las ramas. Para vías de mayor anchura (y por lo tanto, mayor distancia entre árboles) se requieren estructuras más estables y resistentes.
- El diseño debe considerar la estabilidad de estos pasos para prevenir la caída de los animales.
- Este tipo de pasos deben aplicarse con cautela en las regiones que cuentan con normativa destinada a evitar la propagación de



H. Bekker

incendios forestales a partir de los márgenes de las vías de transporte, y que establece la obligatoriedad de evitar la continuidad entre las copas de los árboles entre los márgenes de la vía y los hábitats forestales adyacentes. En estas zonas los materiales utilizados deberán ser metálicos o de material ignífugo para reducir el riesgo de propagación de incendios.

Dimensiones

- Cables a partir de un diámetro de 4 cm.
- Puentes de malla: dos cables paralelos, separados entre 20 y 30 cm, con una red entre ellos.
- Plataformas de 20-30 cm de anchura.

Tipologías constructivas

- En función de la anchura de la vía se contemplan tres tipos de dispositivos. El más versátil es el puente de malla que puede ser utilizados también por mustélidos como la garduña (*Martes foina*). En caso de vías de menor anchura son útiles simples cables sujetos a los árboles.

Acondicionamientos

- No requiere ningún acondicionamiento particular, excepto mantener la continuidad entre la cobertura forestal y el paso.

Posibles variaciones a la propuesta base

- Los pasos entre árboles no deben ser accesibles a los depredadores. Para reducir el riesgo de depredación por aves rapaces sobre los animales que los utilicen se puede colocar una cuerda adicional en la parte superior del paso.

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Deberán realizarse inspecciones regularmente para evitar un desgaste excesivo de los elementos que componen el paso (cuerdas, cables, plataformas) y reemplazar los que estuvieran en mal estado.

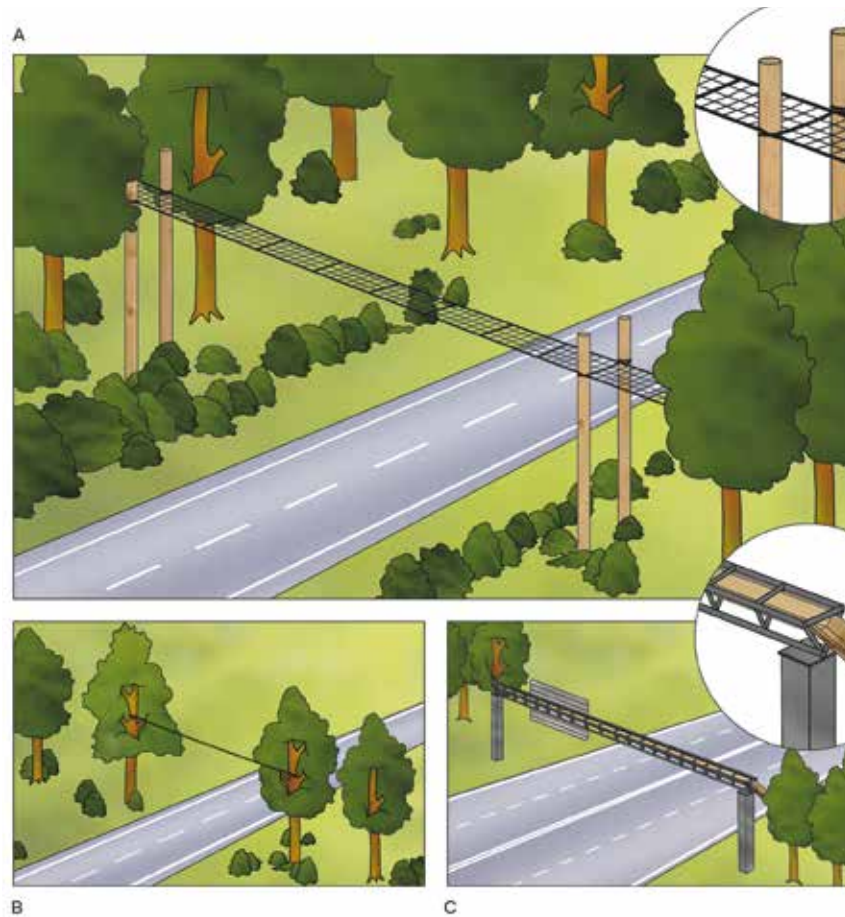


Figura 4.1. Esquemas generales de distintos tipos de pasos entre árboles según la anchura de la vía. A: paso de puente de malla, B: cable entre árboles y C: plataforma para el paso de fauna en soportes de señalización. Fuente: AT-Minuarta.



Figura 4.2. Plataformas de madera instaladas en un soporte de señalización de una autopista. Foto: H. Bekker.



Figura 4.3. Paso de puente de malla. Se recomienda el uso de materiales ignífugos para evitar la propagación de fuego, especialmente en zonas con alto riesgo de incendio forestal. Foto: K. Soanes.

Especies y grupos de referencia

- Adecuado para todo tipo de especies (incluyendo ungulados y grandes carnívoros). También para la fauna acuática, si bajo el mismo discurren cursos fluviales u otros hábitats vinculados al agua. Constituye, además, un hábitat para invertebrados y otros pequeños organismos.

Uso de la estructura

- Multifuncional: paso de fauna, conexión de hábitats de ambos márgenes de las vías, drenaje y usos antrópicos compatibles con la fauna como el cruce de senderos, vías pecuarias o caminos.

Características y prescripciones básicas

- Los viaductos, en los que la plataforma de la vía se dispone sobre pilas, son estructuras que permiten conservar intactos o poco alterados los hábitats asociados a cursos fluviales, que albergan una notable diversidad biológica y canalizan los desplazamientos de fauna. También son estructuras adecuadas para evitar la afección de marismas u otro tipo de humedales.
- Constituyen una alternativa a la construcción de terraplenes con pasos inferiores a la vía, que ejercen un mayor efecto barrera y no permiten restablecer la continuidad de hábitats.
- Las medidas de adaptación de un viaducto al paso de fauna consisten básicamente en minimizar la afectación a la vegetación de ribera y al lecho del río durante la fase de construcción, sobredimensionar la estructura para conservar los hábitats del curso fluvial y sus márgenes y mantener la morfología del terreno recurriendo lo mínimo posible a estructuras artificiales de estabilización.



C. Rosell

- Se evitará en todo caso el encauzamiento del curso fluvial y, si fuera indispensable para garantizar la estabilidad del viaducto, se realizará mediante estructuras compatibles con el paso de fauna (escolleras revegetadas, mallas geotextiles, etc.) y se habilitarán franjas laterales secas adecuadamente restauradas.

Dimensiones

- La longitud del viaducto se proyectará, además de para atender a los condicionantes hidráulicos, con una extensión que permita cubrir toda la franja ocupada por vegetación de ribera, ampliando si fuera posible hasta 10 m más a cada lado de la misma.
- La distancia entre la vegetación de ribera y las pilas o estribos del viaducto será de 5 m como mínimo, con la finalidad de reducir la afectación a los hábitats naturales.
- La altura de las pilas del viaducto será de 5 m, si se disponen sobre comunidades vegetales arbustivas o herbáceas, y de 10 m si se trata de formaciones arbóreas.

Tipologías constructivas

- Diversas.

Acondicionamientos

Conservación de los hábitats situados bajo la estructura

- Para garantizar la continuidad de los hábitats en el entorno fluvial o en humedales se evitará en lo posible la alteración de las comunidades vegetales bajo el viaducto y su entorno. Con esta finalidad, en áreas con alto interés de conservación se optará por sistemas constructivos como las técnicas de losa empujada, voladizos sucesivos, o el uso de cimbras autoportantes. Cuando se utilicen cimbras tradicionales, solamente deberá eliminarse la vegetación bajo los puntos de apoyo.
- Los caminos de obra deberán planificarse y ejecutarse adecuadamente, evitando la destrucción de hábitats de interés y minimizando el efecto barrera que puedan ejercer para la fauna que se desplaza por el cauce fluvial.
- Cuando en la fase de construcción sea indispensable la alteración de la vegetación existente, se restaurarán los hábitats restableciendo la morfología original del terreno y revegetando la superficie con especies autóctonas propias del hábitat afectado.
- Las pilas y estribos deben quedar situados, siempre que sea posible, fuera de la zona ocupada por la vegetación de ribera y dejando márgenes adicionales a cada lado de ella. En estos terrenos se conservarán las comunidades vegetales existentes, o las zonas agrícolas si fuera el caso, evitando los usos incompatibles con el desplazamiento de fauna (Figura 5.3).
- La disposición de montones o hileras de piedras y troncos bajo la estructura ofrece refugios y microhábitats para la fauna y favorece la presencia de invertebrados, reptiles y otros pequeños animales (Figura 5.5). Estos elementos son particularmente útiles durante el período inicial en el que las revegetaciones no hayan alcanzado

todavía su completo desarrollo. Otros elementos como muretes de paredes secas pueden ejercer también esta función.

Acondicionamientos de los accesos

- Se realizarán revegetaciones y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a la fauna desde los hábitats del entorno hacia el viaducto (véase Ficha 12).
- Se evitará la instalación de cerramiento perimetral bajo el viaducto, ya que se produciría una notable reducción de la anchura efectiva de los sectores por donde puede desplazarse la fauna a través de la infraestructura (Figura 5.10).
- Pueden instalarse grandes bloques de piedra bajo el viaducto si existe riesgo de que el terreno se utilice para la circulación de vehículos.

Posibles variaciones a la propuesta base

- Debe evitarse el cruce de trazados de infraestructuras viarias por los viaductos adaptados al paso de fauna. Esta opción solo podrá considerarse si la estructura es de grandes dimensiones y las vías presentan una intensidad de tránsito baja o moderada; en estos casos, es preferible que la vía se sitúe próxima a uno de los estribos del viaducto. Además, se acondicionarán pantallas vegetales para reducir las perturbaciones generadas por el tráfico de vehículos, aunque alejadas de la plataforma de circulación y manteniendo desbrozados los márgenes de la carretera para reducir el riesgo de atropellos (véase Ficha 22).
- En viaductos en los que se prevea que pueda producirse una elevada mortalidad de avifauna por colisión con vehículos se deberán instalar elementos en los bordes de las plataformas de la vía para evitar que la trayectoria del vuelo de las aves pueda coincidir con la de los vehículos.

- Algunos viaductos cuentan con pantallas laterales en los márgenes de la plataforma, por ejemplo, pantallas acústicas destinadas a reducir el ruido generado por el tráfico en las inmediaciones de la vía. Se evitará, en estos casos, el uso de pantallas transparentes que causan mortalidad de aves por colisión, o se señalizarán adecuadamente para advertir a las aves de su presencia (véase Ficha 24).

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Se realizarán inspecciones periódicas de la superficie situada bajo el viaducto para comprobar que no existen obstáculos que dificulten el paso de animales y evitar que se implanten usos inadecuados, como el estacionamiento de maquinaria, depósito temporal de materiales agrícolas, etc.
- En caso de que se haya procedido a restaurar los terrenos afectados por la construcción de la estructura, las revegetaciones serán objeto de las medidas de mantenimiento necesarias para favorecer su implantación.
- Deberá asegurarse la correcta instalación y mantenimiento del cerramiento perimetral, y en su caso, de las pantallas, reparando periódicamente los desperfectos observados.

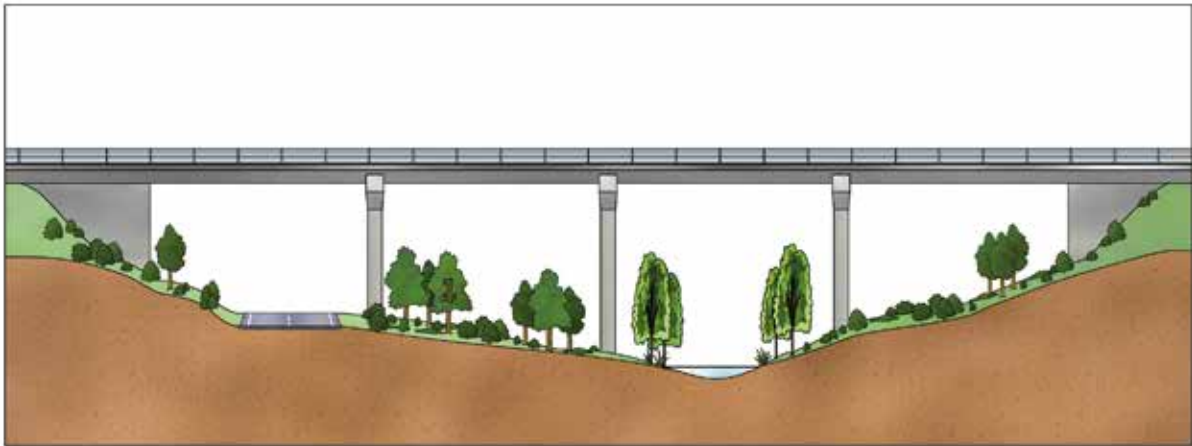


Figura 5.1. Distribución de distintos usos bajo un viaducto: curso fluvial, sectores revegetados que se mantienen secos y ubicación de una carretera en las proximidades de uno de los estribos del viaducto. Las pilas se ubican fuera del cauce fluvial para preservar la continuidad del corredor de ribera. Si bajo el viaducto discurre una carretera sus márgenes se mantendrán desbrozados para reducir el riesgo de atropello de animales, y sin cerramientos que dificulten los movimientos de fauna. Fuente: AT-Minuarta.

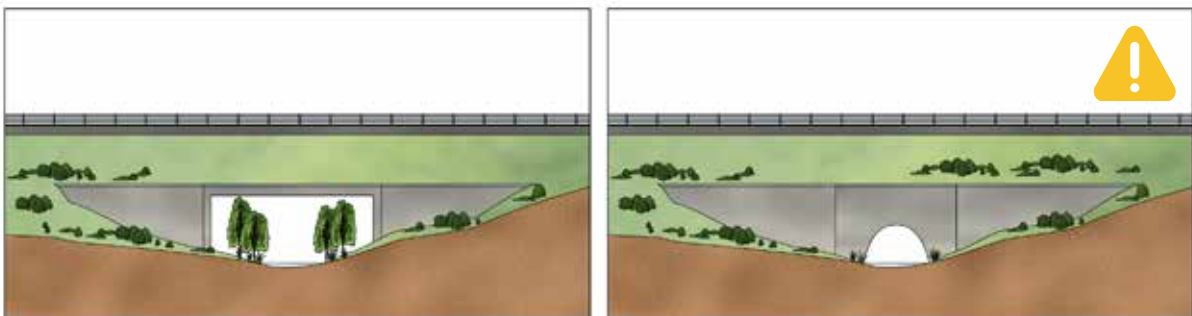


Figura 5.2. Los pórticos y bóvedas son menos adecuadas que un viaducto para el cruce de valles fluviales. En caso de utilizarse este tipo de estructuras deberán dimensionarse de manera que permitan conservar la continuidad de la vegetación de ribera (izquierda). Fuente: AT-Minuarta.

⚠ Indica que el diseño es menos adecuado que el resto de opciones, ya que no permite incluir los márgenes del cauce.



Figura 5.3. Viaductos que permiten una completa continuidad de hábitats forestales y de ribera. Fotos: C. Rosell y Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya.



Figura 5.4. Viaducto por el que discurren diversos hábitats, facilitando su uso por una mayor cantidad de especies. Foto: ADIF.



Figura 5.5. Disposición de troncos que ofrecen microhábitats para pequeños animales debajo del viaducto. Foto: Centro Direccional Parc de l'Alba.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 5.6. Destrucción completa de los hábitats del cauce durante la fase de construcción. Foto: C. Rosell.



Figura 5.7. Camino de obra que ha interrumpido la continuidad del curso fluvial. Foto: R. Campeny.



Figura 5.8. Mala disposición de las pilas en el interior del cauce. Foto: F. Navàs.



Figura 5.9. Uso inadecuado de los terrenos situados bajo el viaducto. Foto: C. Rosell.



Figura 5.10. Sector bajo un viaducto con cerramiento perimetral en un extenso sector de su longitud, que impide el paso de los animales. Foto: Minuartia.



Figura 5.11. Puente con la superficie hormigonada bajo su luz, que impide la continuidad de la vegetación de ribera. Foto: Minuartia.

Especies y grupos de referencia

- Ungulados y grandes carnívoros (oso, lobo y lince ibérico).

Otros grupos que pueden utilizarlo

- Micromamíferos y reptiles (incluidos camaleones y tortugas). También anfibios, si se instalan cerramientos adecuados (véase Ficha 11) y presenta microhábitats con el grado de humedad necesario para este grupo.
- Con acondicionamientos adecuados puede orientar el vuelo de murciélagos y facilitar desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan.

Uso de la estructura

- Exclusivo para la fauna.

Características y prescripciones básicas

- Los pasos inferiores consiguen una alta efectividad para el paso de fauna aunque presentan más dificultades para conectar hábitats, ya que permiten un crecimiento limitado de la vegetación.
- Son adecuados para restablecer la permeabilidad en los tramos en los que el trazado de la infraestructura discurra sobre terraplén.
- Su ubicación deberá coincidir con rutas de desplazamiento habitual de fauna.
- Se evitará la circulación de vehículos por estas estructuras y se minimizarán las perturbaciones derivadas de la actividad humana.



C. Rosell

Dimensiones

- Altura mínima: 3,5 m
- En áreas con presencia de jabalí y corzo, anchura mínima: 7 m y con Índice de Apertura ($A \times H / L$) $> 0,75$.
- En áreas con presencia de ciervo, anchura mínima: 12 m y con Índice de Apertura ($A \times H / L$) $> 1,5$.
- Anchura recomendada para optimizar su efectividad: 15 m.
- Para proyectos de desfragmentación en vías en funcionamiento véase apartado 3.3.4.
- Los pasos deben tener la mínima longitud posible; por ello, siempre que sea posible, se construirán perpendiculares a la vía, y no excederán los 70 m de longitud.

Tipologías constructivas

- Estructuras de sección abierta: pórtico o bóveda. Los marcos son menos adecuados, ya que no permiten conservar el sustento natural. Además, los marcos de gran anchura requieren tabiques que separan distintas celdas reduciendo la anchura útil en cada una de ellas.

Acondicionamientos

Adecuación del interior del paso

- Deberá asegurarse un buen drenaje de la estructura con el objeto de evitar la inundación del paso, incluso después de períodos de fuertes lluvias, ya que la presencia de una lámina de agua dificulta el paso de muchas especies. Si se prevén períodos de inundación temporal la base de la estructura se adecuará de manera que, en todo momento, se mantengan franjas laterales secas de cómo mínimo 1 m de anchura.
- Es preferible que la base del paso mantenga sustrato natural. Por ello se recomiendan estructuras de sección abierta, como los pórticos o bóvedas.
- La revegetación solo es viable en los tramos más próximos a los accesos, ya que en el sector central las condiciones no son adecuadas para el crecimiento de la vegetación. Para facilitar refugios a la fauna de pequeño tamaño, y así facilitarles el uso del paso, se pueden instalar hileras de piedras, tocones de árboles, troncos o ramas secas en los márgenes laterales de la estructura.

Acondicionamientos de los accesos

- Se realizarán revegetaciones y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a la fauna hacia los accesos del paso (véase Ficha 12).
- Para favorecer el uso por parte de murciélagos véanse las recomendaciones indicadas en la Ficha 31.
- Se evitará que carreteras transitadas discurran próximas y perpendiculares a las entradas del paso, ya que dificultarían su uso por parte de la fauna y aumentaría el riesgo de generar tramos de concentración de accidentes causados por fauna.
- Si la infraestructura viaria situada por encima del paso tiene una alta intensidad de

tráfico, es necesario instalar pantallas opacas en la parte superior de la estructura, para atenuar las perturbaciones generadas por el tráfico de vehículos. (Figura 6.1.).

- Los materiales de construcción de las pantallas deberán garantizar una alta durabilidad, así como reducir la posibilidad de que puedan ser objeto de actos vandálicos.
- La disposición de grandes bloques de piedra, troncos de árboles, o similares, en los accesos del paso permitirá evitar el acceso incontrolado de vehículos. Una alternativa a este sistema será la instalación de barreras transversales (p. ej., barras de madera o metálicas situadas a una altura de unos 50-70 cm) que no obstaculicen el paso de fauna (Figura 1.11).
- Es recomendable señalar los accesos del paso, indicando la prohibición de circulación de vehículos.

Posibles variaciones a la propuesta base

- Si se utilizan estructuras de sección cerrada, es recomendable recubrir la base de hormigón con sustrato natural.

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Mantener los accesos libres de obstáculos para la fauna, y revisar que se mantienen en su lugar las rocas u otros elementos instalados para impedir el acceso de vehículos.
- Después de episodios de fuertes lluvias, verificar que el paso cuenta con un efectivo drenaje para evitar su inundación completa o, en caso de que se produzca, asegurar que ésta afecte el mínimo período de tiempo.

- Realizar el adecuado mantenimiento de vallados de encauce y pantallas. En caso de vandalismo o robo de plafones de madera en las pantallas, evaluar la instalación de una placa metálica superior que dificulte la extracción de los plafones (véase Figura 13.5).
- Respecto a la conservación de la vegetación que en la mayor parte de los casos solo crecerá en los accesos del paso, debe evitarse el uso de fertilizantes y de productos tóxicos para el control de plagas. Durante los primeros años pueden ser indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación. No obstante, el uso de especies y ecotipos locales, adaptados a condiciones de aridez debería reducir la necesidad de aporte de agua.
- Programar siegas periódicas de vegetación adaptadas a las condiciones locales y para mantener un diseño óptimo para la fauna. Se requerirán desbroces para evitar el desarrollo excesivo de la vegetación arbustiva. Los accesos deberán mantener el diseño más apropiado para facilitar el encauce de animales hacia el paso, con mayor desarrollo de vegetación en ambos lados de la estructura, y dejando despejada la parte central de acceso al paso.
- Los refugios para fauna (hileras de fauna, tocones de árboles u otros) requieren bajo mantenimiento. Únicamente se supervisará que no se altera su disposición. En el caso de madera muerta no es necesaria su reposición, y se dejará que avance el proceso de descomposición natural.
- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en la estructura y su entorno, p.ej. almacén de materiales o usos lúdicos. En particular, debe evitarse la instalación de vallados en fincas adyacentes que dificulten el acceso de los animales a la estructura, o el acceso de vehículos a zonas reservadas para la fauna. En caso de

que se produzcan estos usos deberán definirse actuaciones correctoras adecuadas para evitar que la efectividad del paso inferior se vea reducida.

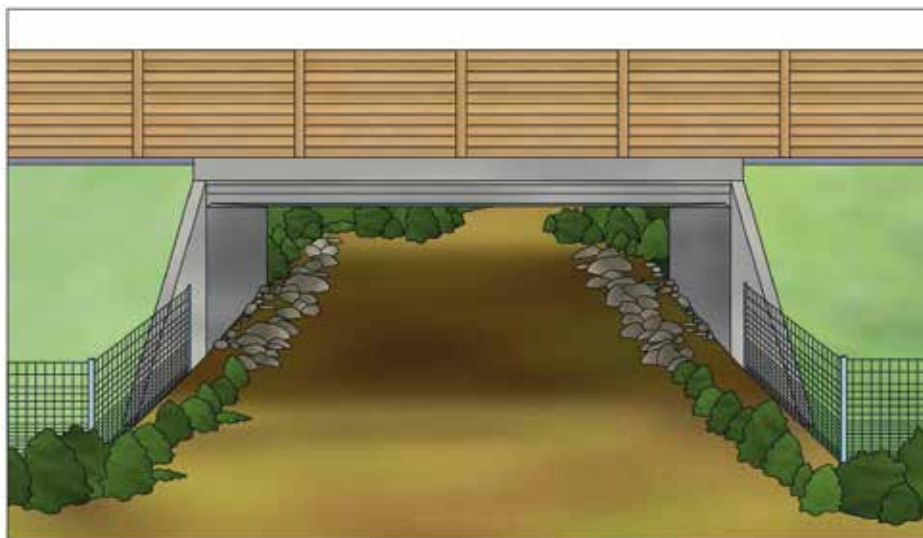


Figura 6.1. Esquema general de un paso inferior específico para grandes mamíferos.
Fuente: AT-Minuarta.



Figura 6.2. Bóveda que permite una gran sección sin tabiques. Foto: ADIF.



Figura 6.3. Paso inferior con la base de sustrato natural. La ausencia de luz y humedad impide el crecimiento de vegetación en el interior de la estructura. Foto: C. Rosell.



Figura 6.4. Las revegetaciones facilitan la integración del paso en su entorno. Foto: Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya.



Figura 6.5. Estructura con un buen acondicionamiento de sus accesos. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 6.6. Lince ibérico utilizando un paso inferior. Foto: Proyecto LIFE+ Iberlince.



Figura 6.7. Ciervo utilizando un paso inferior. Foto: CEDEX. Universidad Autónoma de Madrid.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 6.8. La inundación completa de la base de la estructura dificulta el paso de la fauna. Foto: C. Rosell.



Figura 6.9. El vallado no adosado al interior de las paredes de la bóveda permite que algunas especies puedan acceder al talud en lugar de entrar en el paso. Foto: C. Rosell.



Figura 6.10. Los usos inadecuados pueden inhabilitar los pasos de fauna. En la imagen izquierda el paso se ha cerrado con tabiques, mientras que en la derecha se aprecian restos que delatan un frecuente uso de la estructura por personas, difícil de compatibilizar con el uso por parte de fauna silvestre. Fotos: Minuartia.

Especies y grupos de referencia

- Ungulados y grandes carnívoros (oso, lobo y lince ibérico).

Otros grupos que pueden utilizarlo

- Micromamíferos y reptiles (incluidos camaleones y tortugas). También anfibios, si se instalan cerramientos adecuados (véase Ficha 11) y presenta microhábitats con el grado de humedad necesario para este grupo.
- Con acondicionamientos adecuados puede orientar el vuelo de murciélagos y facilitar desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan.

Uso de la estructura

- Mixto: Paso de fauna y camino, vía pecuaria, acequia o canal.

Características y prescripciones básicas

- Se trata de pasos inferiores destinados a la restitución de caminos o vías pecuarias que pueden adaptarse para favorecer su uso como pasos de fauna.
- Se adaptarán preferentemente estructuras que restituyan caminos con baja intensidad de tránsito o vías pecuarias. También pueden combinar el paso de fauna con el de acequias o canales (véase también Ficha 9).
- Las modificaciones destinadas a favorecer el paso de fauna consisten, básicamente, en mantener la base del paso con sustrato natural, o bien conservar dos bandas laterales sin pavimentar por las cuales la fauna podrá desplazarse sobre un sustrato similar al del entorno. También es indispensable el acondicionamiento de los accesos del paso.



C. Rosell

Dimensiones

- Altura mínima: 3,5 m
- En áreas con presencia de jabalí y corzo, anchura mínima: 7 m y con Índice de Apertura ($A \times H / L$) $> 0,75$.
- En áreas con presencia de ciervo, anchura mínima: 12 m y con Índice de Apertura ($A \times H / L$) $> 1,5$.
- Anchura recomendada para optimizar su efectividad: 15 m.
- Para proyectos de desfragmentación en vías en funcionamiento véase apartado 3.3.4.
- Anchura mínima de franjas laterales con sustrato natural: 1 m.
- Los pasos deben tener la mínima longitud posible; por ello, siempre que sea posible, se construirán perpendiculares a la vía, y no excederán los 70 m de longitud.

Tipologías constructivas

- Estructuras de sección abierta: pórtico o bóveda. Los marcos son menos adecuados, ya que no permiten conservar el sustrato natural. Además, los marcos de gran anchura requieren tabiques que separan distintas celdas reduciendo la anchura útil en cada una de ellas.

Acondicionamientos

Adecuación del interior del paso

- Deberá asegurarse un buen drenaje de la estructura con objeto de evitar la inundación del paso, incluso después de períodos de fuertes lluvias, ya que la presencia de una lámina de agua dificulta el paso de muchas especies. Si se prevén períodos de inundación temporal, la base de la estructura se adecuará de manera que, en todo momento, se mantengan franjas laterales secas de como mínimo 1 m de anchura.
- Si la estructura comparte el paso de fauna con la circulación de vehículos, la superficie central puede estar pavimentada o cubierta de zahorra, pero las franjas laterales deberán recubrirse con sustrato natural.
- La revegetación de las franjas laterales solo es viable en los tramos más próximos a los accesos, ya que en el sector central las condiciones no son adecuadas para el crecimiento de la vegetación.
- No se instalarán bordillos u otros elementos de separación entre las zonas destinadas a circulación de vehículos y paso de fauna. Se evitará en la medida de lo posible el uso de barreras de seguridad tipo biondas o similar.

Situación del sector destinado a circulación de vehículos

- Preferentemente se ubicará el camino en el sector central de la estructura, permitiendo que los animales accedan a las dos franjas no pavimentadas desde ambos lados (Figura 3.2 A y B), aunque también es posible ubicarlo en uno de sus márgenes si se dispone de una gran anchura. En este caso, se acondicionará una franja naturalizada de 2 m de anchura como mínimo, entre el camino y las pantallas del margen del paso (Figura 3.2 C).

Acondicionamientos de los accesos

- Se realizarán plantaciones y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a la fauna hacia las entradas del paso (véase Ficha 12).
- Para favorecer el uso por parte de murciélagos véanse las recomendaciones indicadas en la Ficha 31.
- Se evitará que carreteras transitadas discurren próximas o perpendiculares a las entradas del paso, ya que dificultarían su uso por parte de la fauna y aumentaría el riesgo de generar tramos de concentración de accidentes causados por animales.
- Si la infraestructura viaria situada por encima del paso tiene una alta intensidad de tráfico, es necesario instalar pantallas opacas en la parte superior de la estructura, para atenuar las perturbaciones generadas por el tráfico de vehículos (Figura 6.1.).
- Los materiales de construcción de las pantallas deberán garantizar una alta durabilidad, así como reducir la posibilidad de que puedan ser objeto de actos vandálicos o de robo de las piezas que las componen.

Posibles variaciones a la propuesta base

- Para facilitar refugio a la fauna de pequeño tamaño, y así facilitarles el uso del paso, se pueden instalar hileras de piedras, tocones de árboles, troncos o ramas secas en los márgenes laterales de la estructura.

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Mantener los accesos libres de obstáculos para la fauna, y revisar que se mantienen en su lugar las rocas u otros elementos instalados para impedir el acceso de vehículos.

- Después de episodios de fuertes lluvias, verificar que el paso cuenta con un efectivo drenaje para evitar su inundación completa o, en caso de que se produzca, asegurar que ésta afecte el mínimo período de tiempo.
- Realizar el adecuado mantenimiento de vallados de encauce y pantallas. En caso de vandalismo o robo de plafones de madera en las pantallas, evaluar la instalación de una placa metálica superior que dificulte la extracción de los plafones (véase Figura 13.5).
- Respecto a la conservación de la vegetación que en la mayor parte de los casos solo crecerá en los accesos del paso, debe evitarse el uso de fertilizantes y de productos tóxicos para el control de plagas. Durante los primeros años pueden ser indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación. No obstante, el uso de especies y ecotipos locales, adaptados a condiciones de aridez debería reducir la necesidad de aporte de agua.
- Programar siegas periódicas de vegetación adaptadas a las condiciones locales y para mantener un diseño óptimo para la fauna. Se requerirán desbroces para evitar el desarrollo excesivo de la vegetación arbustiva. Los accesos deberán mantener el diseño más apropiado para facilitar el encauce de animales hacia el paso, con mayor desarrollo de vegetación en ambos lados de la estructura, y dejando despejada la parte central de acceso al paso.
- Los refugios para fauna (hilera de fauna, tocones de árboles u otros) requieren bajo mantenimiento. Únicamente se supervisará que no se altera su disposición. En el caso de madera muerta no es necesaria su reposición, y se dejará que avance el proceso de descomposición natural.
- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en la estructura y su entorno,

p.ej. almacén de materiales o usos lúdicos. En particular, debe evitarse la instalación de vallados en fincas adyacentes que dificulten el acceso de los animales a la estructura, o el acceso de vehículos a zonas reservadas para la fauna. En caso de que se produzcan estos usos deberán definirse actuaciones correctoras adecuadas para evitar que la efectividad del ecoducto se vea reducida.



Figura 7.1. Esquema general de un paso inferior multifuncional. Fuente: AT-Minuartia.



Figura 7.2. Paso de una vía de ferrocarril que combina el paso poco frecuente de trenes con el de fauna. Foto: V. Hlavac.



Figura 7.3. Restitución de un camino forestal compatible con el paso de fauna silvestre. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 7.4. El camino sin pavimentar y el cerramiento bien adosado a las aletas favorecen el paso de fauna. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 7.5. Los pasos destinados a ganado también pueden ser adaptados para facilitar su uso por fauna silvestre. Foto: E. Perapoch.



Figura 7.6. Disposición de una acequia en uno de los márgenes de un paso inferior multifuncional dejando, amplias franjas destinadas al paso de fauna. Fuente: AT-Minuarta.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 7.7. Escollera que dificulta el paso de fauna en la base y márgenes de la estructura. Foto: F. Navàs.



Figura 7.8. Uso inadecuado del interior de un paso inferior multifuncional para estacionar maquinaria. Foto: M. Fernández Bou.

Especies y grupos de referencia

- Carnívoros de pequeño y mediano tamaño como mustélidos, gineta (*Genetta genetta*), etc. y lagomorfos (conejos y liebres).

Otros grupos que pueden utilizarlo

- Micromamíferos y reptiles, incluyendo camaleón (*Chamaleo chamaleon*) y tortugas. También anfibios si hay suficiente humedad ambiental y se instalan cerramientos adecuados (véase Ficha 11).
- Pueden ser adecuadas para las especies de murciélagos pequeños y de vuelo ágil y raso, como *Rhinolophus* spp., *Myotis* spp. y *Plecotus* spp. (véase Ficha 31).
- También puede facilitar desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan.
- No es adecuado para grandes carnívoros ni para ungulados, aunque tanto el lince ibérico como el jabalí, se han habituado a utilizarlos en algunas regiones.

Uso de la estructura

- Exclusivo para la fauna.

Características y prescripciones básicas

- En los tramos donde se requiera aumentar la permeabilidad para pequeños vertebrados y en los que no se disponga de suficientes drenajes que puedan adaptarse para el paso de fauna, será necesario construir pasos adecuados para las especies de pequeño y mediano tamaño. También es posible construir este tipo de estructuras en vías en funcionamiento, en tramos en los que se registre una alta mortalidad de alguna especie de alto interés y susceptible de usar estos pasos.



M. Fernández Bou

- Son adecuados para los tramos en los que el trazado de la infraestructura discorra sobre terraplén.
- Se construirán preferentemente a partir de marcos de sección cuadrada o rectangular, ya que facilitan una mayor superficie en la base que las estructuras circulares.

Dimensiones

- Mínimas: 2 x 2 m siempre que se trate de proyectos de nuevas vías.
- Para proyectos de desfragmentación en vías en funcionamiento véase apartado 3.3.4.
- Los pasos deben tener la mínima longitud posible; por ello, siempre que sea posible, se construirán perpendiculares a la vía, y no excederán los 70 m de longitud.

Tipologías constructivas

- Cajón, pórtico o bóveda.

Acondicionamientos

Adecuación del interior del paso

- Deberá asegurarse un buen drenaje de la estructura con objeto de evitar la inundación del paso, incluso después de períodos de fuertes lluvias, ya que la presencia de una lámina de agua dificulta el paso de

muchas especies. Si se prevén períodos de inundación temporal, la base de la estructura se adecuará de manera que, en todo momento, se mantengan dos franjas laterales secas, una en cada lado de la estructura, de como mínimo 50 cm de anchura (Ficha 9).

Acondicionamientos de los accesos

- Se realizarán plantaciones y se instalará el cerramiento perimetral aplicado a las alas de las estructuras, sin dejar ninguna discontinuidad y de manera que guíen a la fauna hacia las entradas del paso (véase Ficha 12).
- Para favorecer el uso por parte de murciélagos véanse las recomendaciones indicadas en la Ficha 31.
- Se evitará que carreteras transitadas discurran próximas o perpendiculares a las entradas del paso, ya que dificultarían su uso por parte de la fauna y aumentaría el riesgo de generar tramos de concentración de atropellos de fauna.
- Si la infraestructura viaria situada por encima del paso tiene una alta intensidad de tráfico, es recomendable instalar pantallas opacas en la parte superior de la estructura para atenuar las perturbaciones generadas por el tráfico de vehículos (Figura 6.1.).
- Los materiales de construcción de las pantallas deberán garantizar una alta durabilidad, así como reducir la posibilidad de que puedan ser objeto de actos vandálicos.

Posibles variaciones a la propuesta base

- Para facilitar refugios a los animales de pequeño tamaño y así facilitarles el uso del paso, se pueden instalar hileras de piedras, tocones de árboles, troncos o ramas secas en los márgenes laterales de la estructura (Figura 8.2).

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Mantener los accesos libres de obstáculos para la fauna.
- Después de episodios de fuertes lluvias, verificar que el paso cuenta con un efectivo drenaje para evitar su inundación completa o, en caso de que se produzca, asegurar que ésta afecte el mínimo período de tiempo.
- Realizar el adecuado mantenimiento de vallados de encauce y pantallas. En caso de vandalismo o robo de plafones de madera en las pantallas, evaluar la instalación de una placa metálica superior que dificulte la extracción de los plafones (véase Figura 13.5).
- Respecto a la conservación de la vegetación que en la mayor parte de los casos solo crecerá en los accesos del paso, debe evitarse el uso de fertilizantes y de productos tóxicos para el control de plagas. Durante los primeros años pueden ser indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación. No obstante, el uso de especies y ecotipos locales, adaptados a condiciones de aridez debería reducir la necesidad de aporte de agua.
- Programar siegas periódicas de vegetación adaptadas a las condiciones locales y para mantener un diseño óptimo para la fauna. Se requerirán desbroces para evitar el desarrollo excesivo de la vegetación arbustiva. Los accesos deberán mantener el diseño más apropiado para facilitar el encauce de animales hacia el paso, con mayor desarrollo de vegetación en ambos lados de la estructura, y dejando despejada la parte central de acceso al paso.
- Los refugios para fauna (hileras de fauna, tocones de árboles u otros) requieren bajo

mantenimiento. Únicamente se supervisará que no se altera su disposición. En el caso de madera muerta no es necesaria su reposición, y se dejará que avance el proceso de descomposición natural.

- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en la estructura y su entorno, p.ej. almacén de materiales o usos lúdicos. En particular, debe evitarse la instalación de vallados en fincas adyacentes que dificulten el acceso de los animales a la estructura, o el acceso de vehículos a zonas reservadas para la fauna. En caso de que se produzcan estos usos deberán definirse actuaciones correctoras adecuadas para evitar que la efectividad del ecoducto se vea reducida.



Figura 8.1. Esquema general de un paso inferior específico para pequeños vertebrados.
Fuente: AT-Minuarta.



Figura 8.2. Hileras de ramas secas para facilitar refugio a animales de pequeño tamaño. Foto: P. Robles.



Figura 8.3. Liebre ibérica utilizando un paso de fauna. Foto: ADIF.



Figura 8.4. La correcta colocación del cerramiento facilita la localización de los accesos. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 8.5. Integración del acceso en los taludes del terraplén. Foto: M. Fernández Bou.

Especies y grupos de referencia

- En función de sus dimensiones, grado y frecuencia de inundación pueden ser adecuados para todo tipo de fauna.
- Los que están permanentemente inundados y disponen de banquetas laterales son adecuados solo para pequeños mamíferos y algunos carnívoros, en particular mustélidos como la garduña (*Martes foina*), visón europeo (*Mustela lutreola*) y la nutria (*Lutra lutra*), y también para la gineta (*Genetta genetta*).

Otros grupos que pueden utilizarlo

- Lagomorfos, micromamíferos, reptiles y anfibios, estos últimos si hay suficiente humedad ambiental y se instalan cerramientos adecuados (véase Ficha 11).
- Si el drenaje es de dimensiones adecuadas (véase apartado 3.3.4) y está correctamente adaptado, puede ser utilizado por ungulados y grandes carnívoros (véase también Ficha 7). Las banquetas laterales no son adecuadas para ungulados.
- Con acondicionamientos adecuados, también puede ser útil para murciélagos, especialmente aquellos pequeños y de vuelo ágil y raso, como *Rhinolophus* spp., *Myotis* spp. y *Plecotus* spp. (véase Ficha 31).

Uso de la estructura

- Mixto: Paso de fauna y drenaje.

Características y prescripciones básicas

- La adaptación de obras de drenaje es un sistema eficaz para facilitar el paso de vertebrados de pequeño y mediano tamaño (particularmente de mamíferos), ya que



C. Rosell

coinciden con vaguadas o fondos de valle que canalizan el desplazamiento de muchas especies. Además, en general, se trata de estructuras poco perturbadas por la presencia humana.

- En las vías de transporte situadas en regiones mediterráneas la adaptación de drenajes es una práctica especialmente adecuada, ya que, debido al régimen torrencial de lluvias, muchas estructuras son de grandes dimensiones y se mantienen completamente secas durante la mayor parte del año.
- Se requieren pocas modificaciones para adaptar los drenajes al paso de fauna. Básicamente se trata de utilizar materiales adecuados (el acero corrugado no es compatible con el paso de fauna), construir banquetas laterales que se mantengan secas para evitar la inundación completa de la estructura y acondicionar adecuadamente las entradas (Figura 9.1).
- No serán adaptables al paso de fauna las estructuras que cuenten con pozos o arquetas en uno o ambos de sus accesos (véase Ficha 25).
- Todos los acondicionamientos que se realicen en los drenajes deberán garantizar que no se reduce su capacidad hidráulica. En el marco de los Planes de adaptación al cambio climático de las infraestructuras de transporte se identifican las obras de drenaje a modificar para mejorar su resiliencia

ante posibles inundaciones. En estos casos, siempre que sea posible, se considerará ampliar sus dimensiones para aumentar su capacidad hidráulica y al mismo tiempo, adecuar la estructura de manera que también facilite el paso de fauna.

Dimensiones

- Las dimensiones de los drenajes se establecerán en función de los condicionantes hidráulicos. Para su adaptación al paso de fauna se seleccionarán drenajes con una sección mínima de 2 x 2 m (o de 2 m de diámetro si se trata de estructuras circulares, aunque estas son menos recomendables).
- En el caso de proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento puede considerarse la adaptación de drenajes de anchuras inferiores a 2 m si las actuaciones van destinadas a evitar el atropello de mustélidos semiacuáticos (como el visón europeo o la nutria), u otros taxones con bajos requerimientos en lo que respecta a dimensiones y siempre que cuenten con estudios que respalden dicha reducción (véase Tabla 3.4, apartado 3.3.4).
- Anchura mínima de banquetas laterales: 0,5 m. Su altura se definirá en función de la lámina de inundación habitual.
- Pendiente recomendada de las rampas de acceso a las banquetas laterales: 30°; máxima: 45°.
- Para que el paso pueda ser utilizado para ungulados debe tener como mínimo las dimensiones indicadas para los pasos inferiores multifuncionales (Ficha 7).

Tipologías constructivas

- Pórtico, bóveda, cajón. Las estructuras circulares son menos recomendables, aunque también pueden adaptarse.

Acondicionamientos

Adecuación del interior del paso

- Si se prevé que la base del paso se inunde completamente de manera permanente, o durante largos períodos de tiempo, se construirán dos plataformas o banquetas laterales, una a cada lado de la estructura, que se mantengan secas incluso en los períodos de mayor caudal, y que tengan una adecuada conexión de sus accesos con el entorno del paso.
- En los drenajes compuestos de varias estructuras adosadas, las banquetas o plataformas deberán instalarse como mínimo en los laterales de las dos más externas.
- La adaptación de drenajes con inundación permanente para grandes mamíferos puede realizarse canalizando el curso de agua por el centro de la estructura, o en uno de sus márgenes en las estructuras de mayor anchura, según se ha indicado en la Ficha 7 (Figura 7.6).
- En los drenajes de sección circular se recomienda acondicionar una superficie plana en su base con recubrimiento de hormigón. La cobertura con sustrato natural (recomendado para otros tipos de pasos inferiores) no es adecuado en este caso ya que estos materiales serían arrastrados por la circulación de agua.

Acondicionamientos de los accesos

- Es indispensable que las banquetas laterales, o en su caso franjas secas de sustrato natural, estén adecuadamente conectadas con el entorno del paso en ambos márgenes. Si se encuentran a distinto nivel del terreno deberán construirse rampas de acceso que conecten el interior del paso con los márgenes del curso o vía de agua.
- Para facilitar el acceso de los animales desde el entorno hacia las entradas de la estructura deben evitarse los obstáculos generados por escalones, socavaciones u

otros elementos. Los encachados de piedra son uno de los mejores recursos para garantizar la continuidad entre la base de hormigón de la estructura y los terrenos adyacentes. Además, permiten evitar uno de los problemas que se observan con mayor frecuencia: la socavación del terreno en las salidas de la estructura por acción del agua que impide o dificulta el desplazamiento de animales.

- Si la salida del drenaje se sitúa en la parte superior de un terraplén, se sustituirán los bajantes escalonados usuales por encachados de piedra, o bien se abrirán las paredes laterales de los bajantes dándoles una pendiente de 30° (Figuras 9.7 y 9.8). Otra opción, en caso de no ser viable ninguna de las anteriores, es la construcción de pequeñas rampas o plataformas que permitan que los animales que utilicen la estructura puedan acceder con facilidad a los taludes.
- La colocación de barras, rejas u otros elementos para evitar la entrada de restos vegetales u otros objetos en el interior del drenaje puede dificultar o impedir completamente el paso de animales. Si es indispensable su colocación deberán diseñarse de manera que permitan el acceso a las banquetas laterales.
- Algunas especies de mamíferos, en particular mustélidos semiacuáticos como el visón europeo y la nutria, se desplazan siguiendo cursos de agua y entre la vegetación riparia que les ofrece refugio. Para la conducción de estos animales hacia el paso es indispensable la continuidad entre los accesos de la estructura y la vegetación de ribera (véase Ficha 12).
- Los cerramientos perimetrales deberán aplicarse a las aletas de las estructuras, sin dejar ninguna discontinuidad y de manera que guíen a la fauna hacia los accesos del paso (véase Ficha 12).
- Para favorecer el uso por parte de murciélagos véanse las recomendaciones indicadas en la Ficha 31.

Posibles variaciones a la propuesta base

- Una alternativa a la construcción de banquetas laterales de hormigón es la instalación de plataformas elevadas (p. ej., de madera tratada o elementos prefabricados de hormigón que garanticen una mayor durabilidad) situadas por encima del nivel del agua y ancladas a las paredes o a la parte superior de la estructura (Figuras 9.2 B, 9.5 y 9.6).

Si se requiere la adaptación de un drenaje ya existente construido en acero corrugado, se recubrirá completamente su base con hormigón.

- En el caso de proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento, en las que se requiera la adaptación de drenajes con inundación permanente para nutria o visón europeo, podrán incorporarse dos tubos secos de diámetro reducido (hasta 40 cm) a ambos lados de la estructura y en su parte superior. Esta medida no es adecuada para otras especies.
- En zonas donde los cursos fluviales experimentan períodos prolongados de crecidas las banquetas laterales deberán construirse en forma de escalones, con el objetivo que estén funcionales y se adapten a las variaciones de la lámina de inundación (Figura 9.2 D).

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Mantener los accesos libres de obstáculos para la fauna.
- Después de episodios de fuertes lluvias, verificar que el paso cuenta con un efectivo drenaje para evitar su inundación completa o, en caso de que se produzca, asegurar que ésta afecte el mínimo período de

tiempo. Deberán eliminarse también los sedimentos acumulados o los elementos arrastrados por el agua que obstaculicen el paso de la fauna o reduzcan la capacidad hidráulica de la estructura.

- Realizar el adecuado mantenimiento de vallados de encauce y pantallas. En caso de vandalismo o robo de plafones de madera en las pantallas, evaluar la instalación de una placa metálica superior que dificulte la extracción de los plafones (véase Figura 13.5).
- Respecto a la conservación de la vegetación que en la mayor parte de los casos solo crecerá en los accesos del paso, debe evitarse el uso de fertilizantes y de productos tóxicos para el control de plagas. Durante los primeros años pueden ser indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación. No obstante, el uso de especies y ecotipos locales, adaptados a condiciones de aridez debería reducir la necesidad de aporte de agua.
- Programar siegas periódicas de vegetación adaptadas a las condiciones locales y para mantener un diseño óptimo para la fauna. Se requerirán desbroces para evitar el desarrollo excesivo de la vegetación arbustiva. Los accesos deberán mantener el diseño más apropiado para facilitar el encauce de animales hacia el paso, con mayor desarrollo de vegetación en ambos lados de la estructura, y dejando despejada la parte central de acceso al paso.
- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en la estructura y su entorno, p.ej. almacén de materiales o usos lúdicos. En particular, debe evitarse la instalación de vallados en fincas adyacentes que dificulten el acceso de los animales a la estructura, o el acceso de vehículos a zonas reservadas para la fauna. En caso de que se produzcan estos usos deberán definirse actuaciones correctoras adecuadas para evitar que la efectividad del ecoducto se vea reducida.



Figura 9.1. Esquema general de un drenaje adaptado para animales terrestres. Fuente: AT-Minuartia.

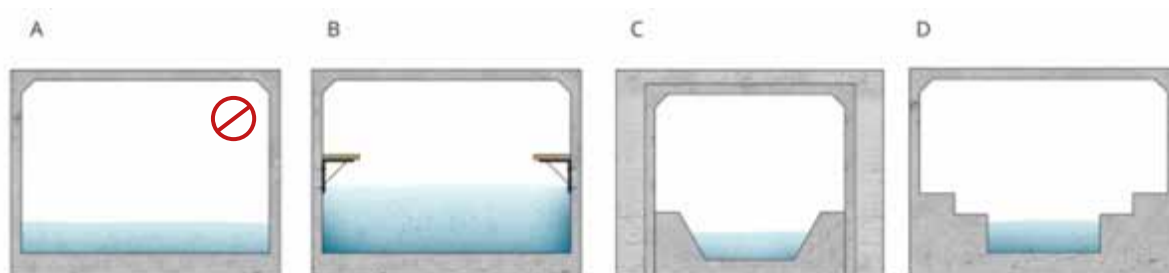


Figura 9.2. Distintas secciones transversales de drenajes que permiten mantener plataformas secas. Las estructuras con la base completamente inundada no son adecuadas para la fauna terrestre (A). Las banquetas de madera ancladas a las paredes interiores limitan la reducción de la capacidad hidráulica de la estructura (B). Las de hormigón pueden construirse si no existe riesgo de inundación y pueden ser de diversas alturas si se prevén importantes variaciones del nivel del agua (C y D). Fuente: 'IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook'.



Figura 9.3. Plataforma lateral que facilita una óptima conexión de las plataformas secas del drenaje con los hábitats naturales de su entorno. Foto: H. Bekker.



Figura 9.4. Interior de una bóveda con plataformas laterales secas. Foto: F. Navàs.



Figura 9.5. Plataforma para facilitar el desplazamiento de animales por el interior de un drenaje. Foto: Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.



Figura 9.6. Nutria utilizando la banqueta de un drenaje adaptado. Foto: V. Hlavac.



Figura 9.7. Encachado que sustituye un bajante escalonado en la salida de un drenaje. Foto: C. Rosell.



Figura 9.8. Bajante de protección del terraplén con las paredes laterales en pendiente, adaptadas para facilitar los movimientos de fauna. Foto: C. Rosell.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 9.9. Las paredes de la acequia dificultan el retorno de los animales al entorno. Foto: F. Navàs.



Figura 9.10. Falta de rampas que conecten las franjas secas con las zonas adyacentes. Foto: F. Navàs.



Figura 9.11. Bajante escalonado que constituye una trampa para la fauna. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos de referencia

- Peces y otros organismos acuáticos.

Uso de la estructura

- Mixto: Paso de fauna y drenaje.

Características y prescripciones básicas

- Todas las estructuras por las que discurre un curso de agua permanente deben adaptarse para facilitar el paso de peces y otros animales acuáticos. Esta adaptación debe permitir el movimiento de los peces tanto a favor como en contra de la corriente; este último es un aspecto fundamental para algunas especies que deben remontar los ríos para el desove.
- Las principales barreras para la movilidad de fauna son las generadas por las socavaciones en la salida del drenaje, por la existencia de desniveles o turbulencias en su interior, por una excesiva velocidad del agua o por la ausencia de una lámina de agua de suficiente profundidad para permitir la natación de los peces.
- Las actuaciones básicas para la adaptación de un drenaje al paso de peces van destinadas a conseguir que la estructura mantenga unas condiciones del sustrato similares a las del curso fluvial y a evitar los obstáculos al desplazamiento de fauna. Para ello, la estructura tendrá la mínima longitud posible, y deberá mantener unas condiciones de profundidad de la lámina de agua, velocidad, turbulencia, anchura y pendiente lo más parecidas posible a las del curso fluvial. No podrán ser adaptadas las estructuras que presenten saltos de agua infranqueables.
- Preferiblemente, los drenajes adaptados al paso de peces serán estructuras de sección



M. Fernández Bou

abierta (puentes o bóvedas) que permitan mantener el sustrato natural o, si se trata de elementos de sección cerrada (marcos o tubos), se sobredimensionarán y se hundirán en el terreno de modo que la base se mantenga 15–20 cm por debajo del lecho del curso fluvial (Figura 10.1).

- No serán adaptables al paso de peces las estructuras que cuenten con pozos, arquetas o bajantes escalonados en sus accesos, ni tampoco aquellas que tengan escalones o tabiques en su interior.
- Todos los acondicionamientos que se realicen en los drenajes deberán garantizar que no se reduzca su capacidad hidráulica. Además, siempre que sea posible, se aprovecharán los trabajos en obras de drenaje para aumentar la capacidad hidráulica de los mismos, mejorando su resiliencia ante posibles inundaciones.

Dimensiones

- La adaptación solo se recomienda en estructuras de drenaje con pendiente inferior a 30°.
- La profundidad mínima de la lámina de agua variará en función de cuáles sean las especies de ictiofauna presentes en cada curso. En general, deberá mantenerse una profundidad mínima de 20 cm, aunque es recomendable la consulta a expertos para adaptar las dimensiones a las limitaciones

natatorias de las especies de peces presentes en cada curso fluvial.

- La altura de los obstáculos que pueden franquear los peces en sus movimientos ascendentes depende de la capacidad de salto y natatoria de las diferentes especies, pero también de la condición física y talla de los peces. Las especies con mayores capacidades natatorias y de salto son los salmonídeos, los mugílidos y algunos barbos (pueden superar desniveles verticales de hasta 15-30 cm). Contrariamente, entre las especies con una capacidad muy limitada para superar obstáculos encontramos el espinoso (*Gasterosteus aculeatus*), el blenio de río (*Salaria fluviatilis*), la colmilleja (*Cobitis paludica*) o el barbo de montaña (*Barbus meridionalis*).

Tipologías constructivas

- Pórtico, bóveda. Las estructuras de sección cerrada (sean circulares o rectangulares) son menos adecuadas, aunque también pueden ser adaptadas para favorecer el paso de peces.

Acondicionamientos

Adecuación del interior del paso

- Se adecuará la pendiente del paso para conseguir que la velocidad de la corriente en el interior del drenaje sea similar a la del curso fluvial.
- Deberá evitarse la existencia de desniveles en el interior del paso o en su salida, ya que pequeños saltos de solo 5-10 cm pueden impedir el avance de algunas especies o de determinadas clases de edad.
- Es fundamental mantener un sector del paso con agua permanente y con profundidad suficiente para permitir el paso de peces. En cursos con períodos de estiaje de bajo caudal puede ser recomendable la excavación de un canal más profundo en el

que se garantice la circulación de agua de manera permanente.

- El drenaje deberá contar también con adaptaciones que permitan el paso de fauna terrestre (véase Ficha 9).

Acondicionamientos de los accesos

- La construcción de pequeñas zonas embalsadas en las salidas del drenaje facilitará el remonte de los peces.
- Si por el drenaje discurren canales o acequias deberá plantearse la posibilidad de instalar rejillas u otros sistemas de retención y sedimentación de los materiales arrastrados antes de la entrada de la estructura, aunque deberán permitir el libre movimiento de los peces.

Posibles variaciones a la propuesta base

- En caso de que no sean viables las tipologías constructivas recomendadas (estructuras de sección abierta o de sección cerrada hundidas en el terreno) deberá garantizarse que no se produzcan discontinuidades por escalones, socavaciones u otros elementos que no puedan ser superados por los peces. Los enchachados de piedra o los cuencos amortiguadores son recursos que permitirán evitar la socavación en las salidas del drenaje y mantener la continuidad entre la base de la estructura y el sustrato natural del curso fluvial.
- En algunos casos, para reducir la velocidad y turbulencia del agua, así como para aumentar la profundidad de la lámina de agua, se pueden instalar deflectores en el interior del drenaje. Los deflectores son paneles transversales al sentido de circulación del agua que disipan la energía y, por tanto, reducen su velocidad y turbulencia. Su adecuado funcionamiento hidráulico depende de que sea dimensionado correctamente, en lo referente sobre todo a la altura y al

número de deflectores, por lo que será necesario contar con la colaboración de ingenieros hidráulicos.

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- Se programarán las tareas de mantenimiento habituales, en las que se retirarán los residuos, acopios de material u otros elementos que obstaculicen el paso o generen condiciones hidráulicas poco adecuadas para el paso de los peces. Estos controles son particularmente necesarios después de períodos de avenidas.
- En las zonas embalsadas de las salidas de los drenajes deberán realizarse dragados periódicos que eviten su colmatación con sedimentos.
- En caso de que se instalen sistemas de retención de materiales en las entradas de los drenajes por los que cruzan acequias o canales, se llevarán a cabo labores periódicas de limpieza para evitar una acumulación excesiva de materiales de arrastre.
- En drenajes que cuenten con deflectores en su interior, se deberán aplicar tareas de mantenimiento específicas, ya que la existencia de paneles rotos o la acumulación de sedimentos puede comprometer su funcionalidad. Además, los paneles rotos pueden dañar a la ictiofauna.

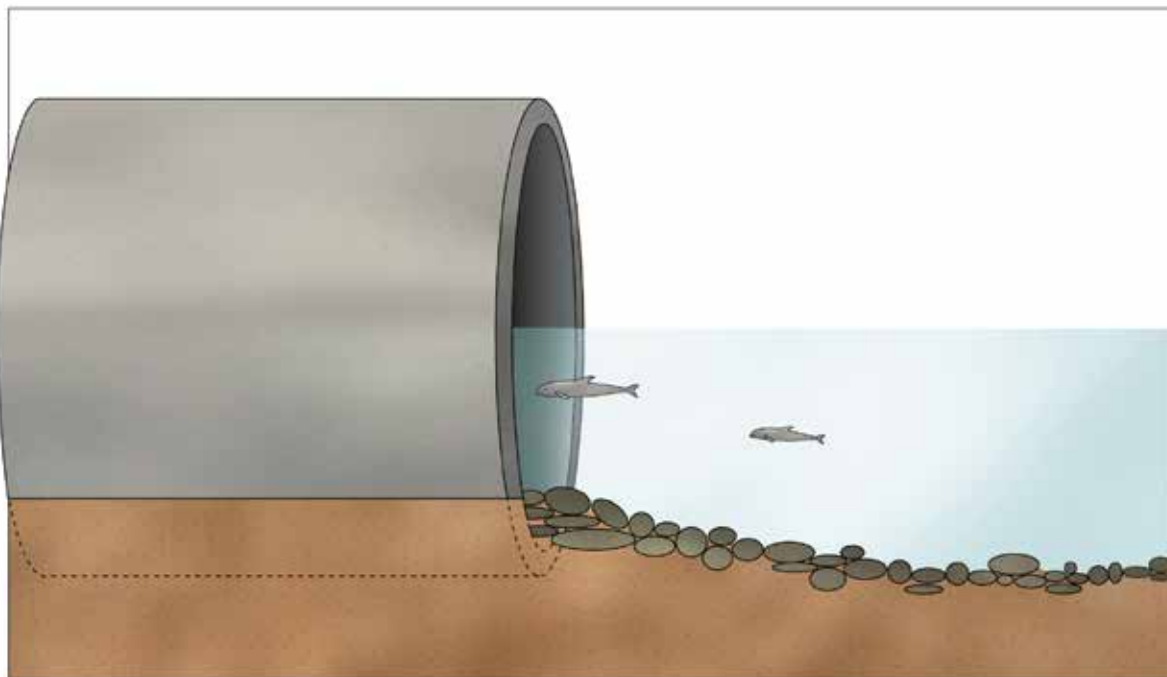


Figura 10.1. Adaptación de un drenaje para facilitar el paso de fauna.

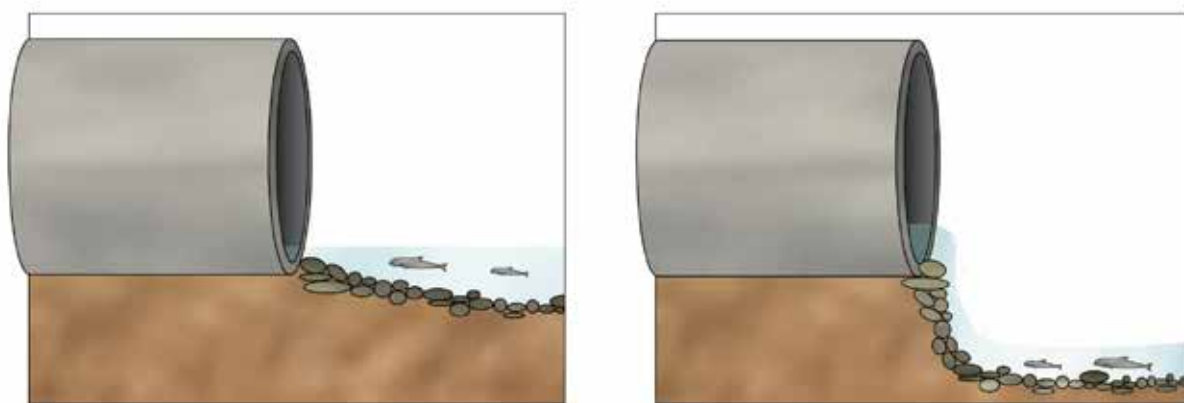


Figura 10.2. Drenajes que dificultan el remonte de los peces debido a la poca altura de la lámina de agua (izquierda) o al importante desnivel (derecha). Fuente: AT-Minuarta.



Figura 10.3. Drenajes situados en un badén que dificultan el paso de peces. Foto: F. Navàs.



Figura 10.4. Escalón en el interior del drenaje que supone un obstáculo para el movimiento de fauna acuática. Foto: J. Dufek.



Figura 10.5. Desnivel excesivo que solo pueden superar los ejemplares adultos con mejor condición física. Foto: J. García Molinos.



Figura 10.6. Socavación de la base de la estructura que ha generado un desnivel insalvable para la fauna acuática. Foto: M. Clavero.

Especies y grupos de referencia

- Anfibios.

Otros grupos que pueden utilizarlo

- Pequeños carnívoros, micromamíferos y algunos reptiles.

Uso de la estructura

- Exclusivo para la fauna.

Características y prescripciones básicas

- Los anfibios tienen requerimientos muy particulares, ya que no tienen capacidad para orientar sus desplazamientos buscando el acceso al paso de fauna. Por ello, la efectividad de las estructuras destinadas a este grupo depende, en gran medida, de la instalación de un cerramiento específico, que actúa como estructura de guía destinada a interceptar sus desplazamientos y conducirlos hacia los pasos.
- Los principales conflictos con anfibios se localizan en los tramos en los que una infraestructura intercepta las rutas de migración periódica a sus zonas de reproducción (balsas, lagunas o cursos fluviales). En algunas especies tanto la migración hacia estas áreas, como la posterior dispersión de jóvenes hacia los ambientes terrestres muestran una gran sincronización, por lo que se produce un desplazamiento masivo de individuos durante unos pocos días. Los pasos de anfibios deberán instalarse principalmente en los tramos que interceptan estas rutas en las que, año tras año, se producen estos movimientos. En caso contrario, los anfibios accederán a la calzada y se generará un tramo con una muy alta concentración de atropellos.



M. Puky

- Los tramos problemáticos se permeabilizarán instalando una batería de pasos adecuados para anfibios entre los cuales se instalará un cerramiento de guía hacia los pasos que reúna las características específicas que requieren estos animales (Figura 11.1).

Dimensiones

- Las anchuras y las alturas mínimas recomendadas de las estructuras requeridas para los pasos aumentarán con su longitud

Longitud del paso (m)	<20	20-30	30-40	40-50
Ancho x Alto (m)	1 x 0,75	1,5 x 1	1,75 x 1,25	2 x 1,5

- La distancia entre los pasos será de 20-60 m; puede ampliarse hasta 100 m si el vallado de guía se dispone ligeramente en forma de embudo para facilitar el desplazamiento hacia el paso.
- Altura mínima del vallado de guía: 0,4 m; 0,6 m si hay rana ágil (*Rana dalmatina*) en la zona (Figura 11.2 y 11.3).

Tipologías constructivas

- Aunque pueden adaptarse estructuras circulares, son preferibles los cajones, ya que sus paredes verticales facilitan el avance de los anfibios (Figura 11.4).

Acondicionamientos

Adecuación del paso

- Las estructuras no deberán presentar ningún escalón u obstáculo ni en los accesos ni en el interior del paso. En caso de desnivel entre el entorno y el interior del paso, este deberá salvarse mediante una rampa de pendiente suave.
- Los pasos deben contar con un buen drenaje para evitar su inundación, ya que los anfibios requieren humedad, pero no estructuras con una lámina de agua recubriendo toda su superficie. La existencia de un sector deprimido por donde discorra agua permanentemente será positiva, ya que permite mantener la humedad del paso.

Cerramiento - estructura de guía

- La estructura de guía de conducción a los pasos estará constituida por una pequeña valla de 40 cm de altura, de hormigón, metal u otro material opaco (Figuras 11.5, 11.6 y 11.7). No son aplicables los cerramientos de malla convencionales, ni aún los de luz más reducida, ya que algunas especies intentan trepar por ellos en lugar de avanzar siguiendo la valla en dirección hacia el paso.
- La parte inferior del cerramiento se ajustará completamente al terreno sin dejar ningún hueco. En la unión con los accesos del paso se evitarán discontinuidades o la formación de bordes o salientes que pudieran obstaculizar el desplazamiento de los animales. Cualquier pequeño desajuste en la base del terreno o en el acceso del paso permitirá que los anfibios accedan a la calzada y el paso perderá completamente su efectividad.
- Son preferibles las vallas completamente verticales. Las que presentan ángulos redondeados dificultan la siega y el avance de los animales. El cerramiento de guía deberá instalarse preferiblemente en la base

de los terraplenes sobre los que discurra la vía y lo más próximo posible a esta (aunque sin impedir las tareas de siega de la vegetación en los márgenes), de modo que la longitud del paso sea la menor posible.

- La parte superior de la valla puede formar una visera con un ángulo de 45° hacia el exterior para dificultar que los animales puedan trepar por ella.
- En las intersecciones con caminos se deberán instalar pasos canadienses (véase Ficha 16) con el objetivo de evitar que los anfibios accedan a la calzada. Este sistema debe cubrir toda la anchura del camino, tener una longitud superior a los 40 cm (para evitar que pueda ser saltado por los anfibios) y la separación entre las barras que la conformen debe ser como mínimo de 6 cm. Los ejemplares que caigan entre los huecos de las barras deberán poder salir por los laterales y desplazarse siguiendo las estructuras de guía hacia los pasos habilitados. Para ello, se ejecutarán rampas de escape con pendientes máximas de 45° (véase Ficha 25).
- Para no dificultar los movimientos de los animales, la superficie del terreno adyacente al vallado de guía por su parte exterior debe estar bien perfilada y no presentar desniveles. También es preferible que esta zona esté desprovista de vegetación que pueda obstaculizar los desplazamientos de los animales o permitirles trepar y superar el vallado. No obstante, la cobertura vegetal será útil en los alrededores para ofrecer refugio a los individuos en migración.
- Los extremos del vallado se doblarán hacia el exterior de la vía en forma de 'U' para orientar a los animales de nuevo hacia los hábitats circundantes y la zona del acceso al paso en caso que se hubiesen desplazado en sentido opuesto, evitando que puedan acceder a la calzada (Figura 11.8).

Posibles variaciones a la propuesta base

- Algunos expertos sugieren que la entrada de luz por la parte superior del paso favorece su uso y, por ello, recomiendan que se cubran los pasos con rejillas. No obstante, no existen resultados concluyentes sobre la influencia de este aspecto en la efectividad del paso.
- Otro diseño que se ha aplicado son los pasos de anfibios unidireccionales, con zanjillas de captación paralelas a cada lado de la vía que conducen a los anfibios a pasos independientes para cada sentido de la marcha. No obstante, este tipo de pasos no son recomendables ya que hay poca evidencia de su efectividad y presentan numerosas complicaciones para su construcción y mantenimiento. Además, pueden suponer un riesgo de mortalidad por atrapamiento tanto para los propios anfibios como para otras especies de pequeño tamaño.

Instalación de barreras temporales y traslado manual de anfibios en período de migración

- Debido a la temporalidad de la problemática asociada a los anfibios, en los lugares en los que se interceptan rutas migratorias se puede optar por instalar un sistema temporal de prevención de la mortalidad. Estos sistemas constan de una valla de material liso y opaco, que impide el acceso de los animales a la vía y los dirige hacia cubos de recogida donde se pueden mantener durante cierto tiempo antes de ser trasladados manualmente al otro lado de la infraestructura viaria. Estos sistemas requieren la colaboración de un elevado número de personas y, con frecuencia, solo son posibles gracias a la participación de grupos de voluntarios.
- Las vallas temporales deben ser completamente opacas, de material liso (plástico, lona) y de una altura mínima de 40 cm para evitar que los anfibios trepen o salten por

encima de ellas (Figura 11.9). Las estacas de sujeción deben colocarse en la parte interior y no en el lado por el que se desplazan los animales.

- Los cubos de recogida deben estar adosados a las vallas para favorecer la caída de los animales (Figura 11.10). Se utilizarán cubos de un mínimo de 30-40 cm de altura, enterrados, con el borde situado al nivel del suelo, y con una distancia entre ellos de unos 10 m. Se instalará uno en cada extremo de la estructura de guía para evitar que los anfibios accedan a la calzada al final del tramo vallado.
- Se procederá al traslado de los anfibios al otro lado de la vía programando entre una y tres inspecciones cada 24 horas, aunque este período se adaptará en función de la intensidad del flujo migratorio. En los períodos de mayor actividad pueden ser necesarios controles incluso cada media hora.

Mantenimiento

Actividades a llevar a cabo periódicamente para el adecuado mantenimiento del paso:

- En las estructuras permanentes deberá asegurarse la correcta instalación y mantenimiento de la estructura de guía para detectar y corregir la aparición de desperfectos y, en particular, para garantizar que se mantiene la continuidad entre este elemento y el acceso al paso.
- Después de episodios de fuertes lluvias, verificar que el paso cuenta con un efectivo drenaje para evitar su inundación completa o, en caso de que se produzca, asegurar que ésta afecte el mínimo período de tiempo. Deberán eliminarse también los sedimentos acumulados o los elementos arrastrados por el agua que obstaculicen el paso de la fauna o reduzcan la capacidad hidráulica de la estructura.
- Se programarán tareas de mantenimiento

periódicas para retirar los residuos, acopios de material, u otros elementos que pudieran obstaculizar los pasos.

- Deberán programarse siegas periódicas de vegetación adaptadas a las condiciones locales y para mantener un diseño óptimo para la fauna. Se requerirán desbroces para evitar el desarrollo excesivo de la vegetación en los accesos del paso, así como a lo largo de la estructura de guía para evitar que los anfibios puedan trepar por la vegetación y acceder a la vía.

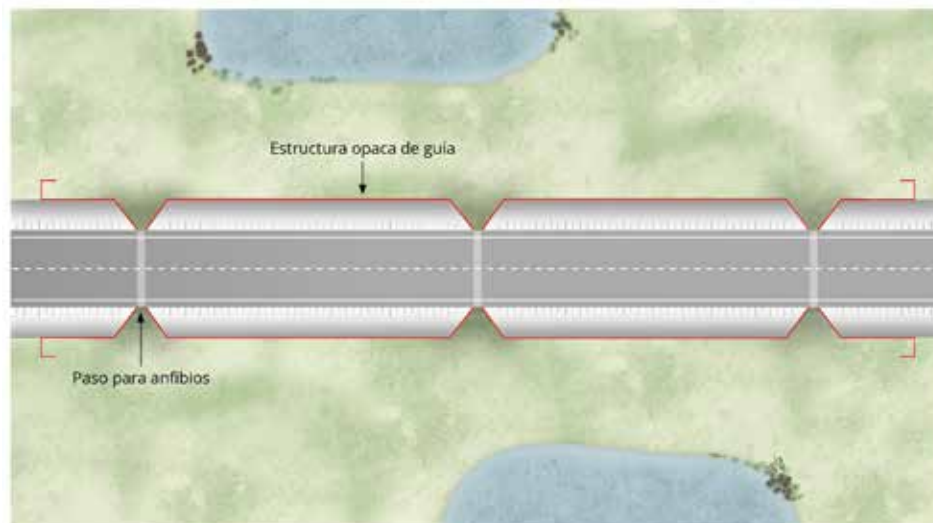


Figura 11.1. Esquema de una batería de pasos para anfibios conectados mediante una estructura opaca de guía con sus extremos en forma de 'U'. Fuente: 'IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook'.

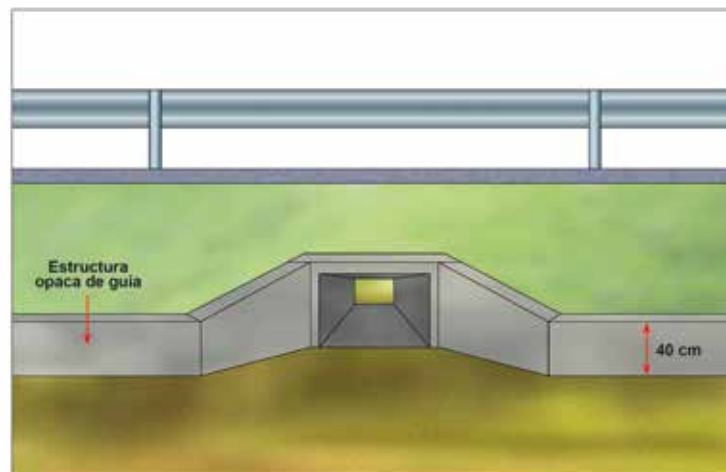


Figura 11.2. Esquema general de un paso para anfibios. Fuente: AT-Minuarta.



Figura 11.3. Paso de anfibios con estructura de guía formando embudo. Foto: GIASA.



Figura 11.4. Vista del interior de un paso para anfibios de sección semicircular. Las paredes verticales y la base plana facilitan el avance de los anfibios. Foto: M. Puky.



Figura 11.5. Paso de anfibios y estructura de guía constituido por un murete de hormigón. Foto: J. Niederstrasser.



Figura 11.6. Cerramiento opaco de hormigón liso que constituye una óptima estructura de guía. Foto: C. Rosell.



Figura 11.7. Estructura opaca de metal aplicada a un cerramiento perimetral, para guiar los anfibios a los pasos. Requiere un buen anclaje al terreno para evitar que se desprendan las placas. Foto: CEDEX.



Figura 11.8. Los extremos de las estructuras de guía deben tener forma de 'U' para que los animales que se hayan desplazado en dirección opuesta al paso retornen a los hábitats circundantes y no puedan acceder a la calzada. Foto: Minuartia.



Figura 11.9. Barrera temporal que se combina con cubos de recogida. Foto: Oficina de Medio Ambiente, Universidad de Vigo.



Figura 11.10. Cubo de recogida de los anfibios que se trasladarán manualmente. Foto: Oficina de Medio Ambiente, Universidad de Vigo.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 11.11. Desajuste entre la estructura de guía y el acceso al paso para anfibios. Foto: C. Rosell.



Figura 11.12. Discontinuidad entre distintos tramos del vallado de guía. Foto: F. Navàs.



Figura 11.13. Las zanjas de recogida de anfibios que los conducen a las entradas de pasos ubicadas en su interior constituyen trampas para otros animales de pequeño tamaño. Foto: C. Rosell.



Figura 11.14. Las mallas de alambre galvanizado no son aplicables porque los anfibios intentan trepar por ellas. Foto: R. Campeny.

Especies y grupos de referencia

- Todos los grupos.

Características y prescripciones básicas

- Para facilitar el uso de los pasos de fauna es importante que los accesos a los mismos estén bien conectados con el entorno adyacente y que se oriente a los animales hacia las entradas. Los cerramientos son indispensables en la mayor parte de los casos para conducir a los animales a los accesos del paso.
- El acondicionamiento de las superficies de las estructuras tiene también una importancia crucial para estimular su uso por parte de invertebrados y vertebrados de pequeñas dimensiones que requieren refugios adecuados. Un correcto diseño de revegetaciones en las superficies de pasos superiores permite además orientar los vuelos de aves, murciélagos, insectos y otros organismos voladores, facilitando que el cruce de la vía se realice sobrevolando estas estructuras.
- Asimismo, es importante que los usos del suelo y actividades en el entorno de los pasos sean compatibles con los movimientos de fauna, por lo cual se requiere contar con mecanismos para evitar la urbanización de los terrenos, la pérdida o degradación de los hábitats de interés para las especies de referencia o la instalación de elementos que limiten los desplazamientos de fauna (p. ej., vallados de fincas).

Plantaciones y refugios para fauna en la superficie de los pasos

- Los procesos de gestión de suelos y de revegetación se realizarán aplicando protocolos que minimicen el riesgo de transporte e implantación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28). Para ello se utiliza-



C. Rosell

rán principalmente materiales de la propia zona, tanto por lo que respecta a suelos, como a plantas. Estas procederán siempre que sea posible, de viveros locales que utilicen ejemplares procedentes de la misma región, o en todo caso, con garantías absolutas de bioseguridad. Cabe considerar la posibilidad de promover actuaciones específicamente destinadas a favorecer especies de flora escasas o incluidas en el 'Libro Rojo de la flora vascular amenazada'.

- Se realizarán plantaciones en las proximidades de los accesos, formando franjas de arbustos paralelas y exteriores al vallado perimetral para conducir a los animales hacia las entradas de las estructuras, ofreciéndoles refugio y protección frente a la luz y el ruido generados por el tráfico (Figura 12.1).
- También se realizarán plantaciones en franjas oblicuas o perpendiculares a la infraestructura que conecten la vegetación de los accesos al paso con la de los hábitats adyacentes (Figura 12.1).
- Frente al paso se mantendrá una zona con menor densidad de vegetación o solo con vegetación herbácea, con el objetivo de que los animales perciban con claridad el acceso al paso y no se muestren reticentes a entrar en él.
- Para atraer la fauna al paso pueden restaurarse en sus accesos ciertos hábitats de in-

terés, como pequeñas charcas que podrán ser utilizadas como punto de reproducción por los anfibios o abrevadero para otros animales (Figura 1.8). No obstante, esto es poco viable en zonas de clima mediterráneo o continental con períodos de considerable sequía. También pueden instalarse refugios para distintos grupos taxonómicos fomentando el uso de la estructura.

- Se conservará o restaurará (en caso que haya sido eliminada) la vegetación de los márgenes de los cauces que discurren por drenajes adaptados, garantizando la continuidad de la cobertura vegetal hasta el acceso a las estructuras. Si se trata de un viaducto u otro tipo de estructura de suficiente amplitud, la vegetación riparia deberá mantener su continuidad en la medida de lo posible también debajo de la estructura.
- Para favorecer que los murciélagos utilicen los pasos, estos deberán integrarse adecuadamente en la matriz paisajística de su entorno. Con ese objetivo, las revegetaciones de sus accesos deberán diseñarse de manera que se creen corredores de vegetación que los conecten con las teselas de vegetación y estructuras lineales naturales del paisaje presentes en su entorno, ya que muchas especies de este grupo utilizan bordes de vegetación, ecotonos, cursos fluviales, etc. como elementos de orientación que canalizan sus rutas de desplazamiento a través de la matriz territorial (véase Ficha 31).
- En el caso de ecoductos (véase Ficha 1) o pasos superiores específicos o multifuncionales (Fichas 2 y 3), estos corredores de vegetación de los accesos deberán tener continuidad con hileras de arbustos altos situadas a ambos lados de la estructura, sobre su superficie y a lo largo de su longitud, de tal manera que actúen como guía de vuelo de los murciélagos (Figuras 2.1 y 3.2).
- En todos los pasos, tanto superiores como inferiores a la vía, y tanto específicos como

multifuncionales, la disposición de hileras de ramas, tocones, troncos o piedras facilita refugios a los animales pequeños, incentivando así el uso de la estructura, como paso o como hábitat (Figuras 2.1 y 6.1).

- En paisajes en los que tradicionalmente se utilicen muros de piedra seca se podrá recurrir a este elemento para la conducción o guía de animales hacia la estructura, y en caso de ecoductos u otros pasos de grandes dimensiones incluso se podrá dar continuidad a los muros en las franjas laterales de las estructuras. Estos elementos constituyen además, óptimos refugios para la fauna.
- Para las plantaciones se utilizarán siempre especies autóctonas, propias de las comunidades vegetales del entorno, y que tengan bajos requerimientos hídricos y de mantenimiento. La plantación de arbustos que produzcan frutos comestibles puede facilitar la atracción de algunas especies hacia las proximidades del paso.
- En los pasos específicos para la fauna en los que exista el riesgo de acceso incontrolado de vehículos se instalarán elementos que dificulten la circulación motorizada en las entradas del paso, como grandes bloques de piedra distribuidos de manera heterogénea y sin que obstaculicen el paso de fauna (Figura 1.12).
- En zonas con alto riesgo de incendios forestales deberá prestarse especial atención a la composición y estructura de la vegetación así como a los materiales escogidos para los refugios y pantallas priorizando evitar la propagación del fuego de un lado a otro de la vía.

Cerramientos

- Deberá escogerse, en cada caso, el tipo de cerramiento más adecuado en función de las especies a las que se pretenda orientar hacia los pasos de fauna (véanse Fichas 14 y 15).

- La probabilidad de que un animal localice los accesos a un paso de fauna mejora si el vallado perimetral se instala adecuadamente, dispuesto de manera que conduzca a los animales hacia las entradas de la estructura que les permitirá cruzar la vía.
- El cerramiento deberá estar bien conectado con las aletas de la estructura destinada al paso de fauna, de modo que no queden espacios por donde los animales puedan acceder a la plataforma de circulación de vehículos.
- En sectores de vías de alta intensidad de tránsito que discurren sobre terraplenes con pasos inferiores destinados a la fauna es recomendable la instalación de pantallas opacas en la parte superior de los taludes para atenuar las perturbaciones que el tráfico genera en los accesos (Figuras 6.1 y 7.1).

Acondicionamiento del terreno

- La morfología de los accesos se adaptará al relieve del terreno, favoreciendo la integración del paso en su entorno y facilitando una óptima conexión con los taludes y los terrenos adyacentes.
- Se deberá evitar la presencia de obstáculos en las entradas de los pasos que dificulten los movimientos de los animales (rejas, residuos, acopios de material, etc.).
- En los drenajes adaptados deberá garantizarse la continuidad entre el entorno y las banquetas laterales o sectores de paso de los animales (véase Ficha 9). A la salida de estas estructuras puede ser conveniente además la construcción de encachados de piedra que evitan la socavación del terreno por la circulación del agua.
- La restauración y el acondicionamiento de accesos se realizarán contando con toda la franja de dominio público asociada a la infraestructura. En algunos casos, como en grandes ecoductos o pasos específicos para la fauna, se deberá prever la expropiación de una superficie de terreno superior o, como alternativa, establecer acuerdos de custodia con los propietarios de los mismos.

Mantenimiento

- Durante los primeros años después de realizar las plantaciones deben programarse riegos de implantación periódicos y proceder a la reposición de los ejemplares que puedan resultar dañados o que no sobrevivan.
- Es importante evitar el establecimiento de Especies Exóticas Invasoras, especialmente en estos primeros años hasta que las comunidades naturales estén establecidas. Para ello, se prestará especial atención en la detección y eliminación de los ejemplares de estas especies (véase Ficha 28).
- Se requieren siegas periódicas de la vegetación para mantener el diseño inicial de la zona restaurada y evitar la progresión de comunidades arbustivas o arbóreas. También son necesarios los desbroces en las entradas de los pasos en los que advierta un excesivo desarrollo de la biomasa vegetal, y especialmente en los drenajes que ven dificultado su uso por la fauna debido al desarrollo de zarzas (*Rubus* spp.) u otras especies.
- En infraestructuras sin vallado perimetral, se deberá evitar la existencia de vegetación arbustiva que conecte los accesos al paso de fauna con los márgenes de la plataforma de circulación de vehículos (Figura 12.8). Se trata de evitar que estas manchas de vegetación conduzcan a los animales hacia sectores con probabilidad de atropello. La instalación de capas de gravas o de mallas geotextiles para prevenir el crecimiento de vegetación puede reducir las necesidades de mantenimiento.

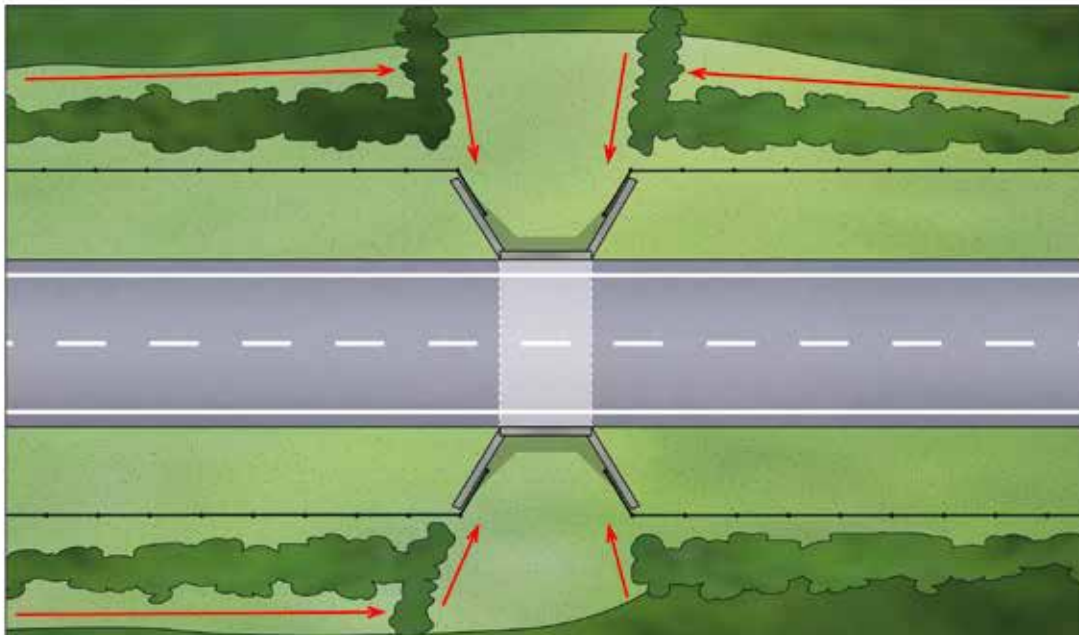


Figura 12.1. Esquema de distribución de las vegetaciones en los accesos a los pasos de fauna que contribuyen a dirigir los desplazamientos de los animales hacia los mismos. Fuente: AT-Minuartia.



Figura 12.2. Acondicionamiento de accesos de un ecoducto que combina motas de tierra e hileras de ramas que facilitan refugios y conducen a los animales hacia la estructura. Las balsas también tienen la función de atraer a la fauna. Foto: H. Bekker.



Figura 12.3. Vegetación de los accesos a un paso multifuncional que facilita refugio a los animales. Foto: Minuartia.



Figura 12.4. La existencia de vegetación natural hasta la entrada del drenaje facilita la conducción de los animales, favoreciendo su funcionalidad. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 12.5. La disposición de hileras de ramas y las revegetaciones facilitan la conducción de la fauna hacia el interior de la estructura. Foto: P. Robles.



Figura 12.6. Correcta instalación del cerramiento perimetral adosado a las aletas de un paso. Foto: M. Fernández Bou.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 12.7. Instalación incorrecta del cerramiento perimetral, ya que no guía a los animales a las entradas del paso. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 12.8. La existencia de franjas de vegetación conectando el hábitat de los márgenes del curso de agua con la calzada facilita la conducción de los animales hacia esta, aumentando la probabilidad de atropello. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos de referencia

- Distintos grupos taxonómicos y hábitats, en función de las características de la estructura.

Características y prescripciones básicas

- Una de las actuaciones claves para la desfragmentación de hábitats es la adaptación de estructuras transversales (como drenajes y pasos inferiores o superiores) para permeabilizar las vías. Se trata de promover su uso por parte de fauna silvestre y conectar hábitats entre ambos lados de las vías en funcionamiento, facilitando así la reducción de atropellos y la restauración de la conectividad ecológica.
- Las estructuras, una vez adaptadas, pasarán a constituir pasos de fauna que pueden ser de distintos tipos: drenajes adaptados, pasos superiores o inferiores multifuncionales, y viaductos adaptados. Por ello, los gestores de las vías deberán identificarlos como tales en sus inventarios de estructuras, y dotarles de un adecuado mantenimiento para preservar su función ecológica a largo plazo.
- Los proyectos de adaptación de estructuras transversales constituyen oportunidades para establecer sinergias con los 'Planes de adaptación al cambio climático' de la red de carreteras y ferrocarriles. Ello permitirá que la modificación de estructuras de mayor sensibilidad frente a eventos catastróficos se pueda realizar considerando la posibilidad de facilitar pasos de fauna, favorecer la conectividad ecológica, y aplicar Soluciones basadas en la Naturaleza.
- Cuando se construye una nueva vía que incluye los correspondientes pasos de fauna, es necesario considerar la necesidad de permeabilizar otras vías que discurren pa-



J.L. Barrallier y V. Vignon

ralelas. La adaptación de estructuras transversales como pasos de fauna en esas vías permitirá dar continuidad a corredores ecológicos y otras zonas de dispersión de fauna. Ello puede desarrollarse en el marco de medidas compensatorias del nuevo proyecto.

- Antes de proceder a definir las modificaciones a realizar en las estructuras existentes es necesario identificar claramente:
 - Los objetivos que se pretende alcanzar,
 - las especies y/o hábitats a los que van destinados,
 - y los tramos concretos en los que son necesarias las actuaciones de permeabilización.
- El proceso (véase apartado 3.4 para mayor detalle sobre cómo llevarlo a cabo) incluirá tres fases: i) inventario y caracterización de las estructuras transversales existentes en el tramo que requiere desfragmentación; ii) selección de las estructuras transversales más idóneas, en cuanto a ubicación y características de la estructura y su entorno, y iii) diseño de las acciones de mejora a aplicar en cada estructura para que pueda ser utilizada como paso de fauna y/o para la conexión de hábitats, además de su función primaria (drenaje o cruce de caminos).

- La adaptación de estructuras transversales como pasos de fauna requiere, para alcanzar su máxima efectividad, de la instalación de vallados perimetrales adecuados (véanse Fichas 14 y 15) que conduzcan los flujos de movimientos de fauna hacia las estructuras designadas. Es por ello que estas medidas son aplicables, y particularmente necesarias, en vías que cuentan con cerramiento. No obstante, la conducción de fauna hacia los pasos también puede conseguirse con una adecuada integración paisajística, restauraciones diseñadas estratégicamente y/o incluyendo elementos lineales de conducción como paredes secas o setos densos (véase Ficha 12).

Diseño de las modificaciones de la estructura para favorecer el paso de fauna

- Una vez seleccionadas las estructuras transversales que se modificarán para favorecer el paso de fauna y restablecer la conectividad ecológica (véase apartado 3.4) se proyectarán las actuaciones a llevar a cabo en cada una de ellas. En función de si se trata de una estructura superior o inferior a la vía, y considerando la función primaria de la misma (drenaje, restitución de camino u otra), se definirán las actuaciones a realizar con el objetivo de que la estructura pueda considerarse un paso de fauna multifuncional.
- Las modificaciones tendrán como objetivo que la estructura se asemeje al máximo a las características prescritas para pasos de fauna multifuncionales, que se incluyen en este mismo documento (Fichas 3, 5, 7 y 9), y que deberán ser consideradas en su totalidad cuando se aborde el diseño de los proyectos de desfragmentación. Concretamente, una vez realizadas las adaptaciones las estructuras pasarán a tener una de las siguientes denominaciones:

- Pasos superiores multifuncionales (Ficha 3)
- Pasos inferiores multifuncionales (Ficha 7)
- Drenajes adaptados (Ficha 9)
- Viaductos adaptados (Ficha 5).
- A continuación se describen las adaptaciones a llevar a cabo para cada uno de estos tipos de pasos.

Pasos superiores multifuncionales

- Las adaptaciones seguirán las prescripciones técnicas incluidas en la Ficha 3, incluyendo como mínimo los aspectos que se detallan a continuación (Figura 13.1).
- Se habilitarán dos franjas con sustrato natural y a ser posible revegetadas, en ambos márgenes de la estructura (Figura 13.2).
- Se apantallarán los márgenes del paso para reducir las perturbaciones generadas por el tráfico que circula por la vía (Figura 13.2).
- Se instalará vallado perimetral que conduzca a los animales hacia los accesos, o se habilitarán otros elementos con esta misma función.

Pasos inferiores multifuncionales

- Las adaptaciones seguirán las prescripciones técnicas incluidas en la Ficha 7 para facilitar el paso tanto de grandes mamíferos como de pequeños vertebrados. Los pasos inferiores normalmente tienen como función primaria el cruce de caminos, pero en ocasiones también albergan el cruce de acequias, canales o pequeños cursos fluviales y en estos casos, también tendrán validez las indicaciones para drenajes adaptados (Ficha 9).
- Se habilitarán dos franjas con sustrato natural y a ser posible revegetadas, en ambos márgenes de la estructura.

- Se instalará vallado perimetral que conduzca a los animales hacia los accesos, o se habilitaran otros elementos con esta misma función.
- En el tramo de vía que integre la estructura se dispondrán apantallamientos en sus márgenes para reducir las perturbaciones de luz y ruido generados por el tráfico. Ello será indispensable en los márgenes de vías de intensidad de tráfico media o alta.

Drenajes adaptados

- Las adaptaciones seguirán las prescripciones técnicas incluidas en la Ficha 9. Las actuaciones incluirán como mínimo los aspectos que se detallan a continuación.
- Se eliminará cualquier obstáculo que dificulte el acceso a las estructuras modificando o cubriendo pozos, arquetas, muretes u otros (véase Ficha 25). También se verificará que no exista ningún obstáculo en su interior, como grandes escalones que pudieran dificultar el avance de los animales que usen el paso.
- Cuando la salida del drenaje se sitúe en un terraplén, se sustituirán los escalones (si los hubiere) por encachados, o bien, se abrirán las paredes laterales del bajante escalonado para permitir que los animales que utilicen la estructura puedan acceder a los hábitats adyacentes (Figuras 9.7 y 9.8).
- Si se trata de estructuras de acero corrugado, será necesario disponer una capa de hormigón recubriendo la base de la estructura.
- En caso de que por el interior de la estructura discurran canalizaciones, se adaptarán los laterales de las mismas con márgenes en pendiente suave y rugosas, que faciliten que los animales que hayan penetrado en las estructuras puedan acceder al entorno.
- Si por el drenaje discurre un canal permanente recubriendo toda su anchura, o bien

se prevé su inundación completa durante largos períodos, se dispondrán dos pasarelas laterales secas, que pueden ser banquetas de hormigón, encachados o plataformas suspendidas, que faciliten franjas de terreno que no queden cubiertas por el agua y por los que puedan pasar los animales (Figuras 13.6 y 13.7).

- En caso de que discurran cursos que alberguen fauna piscícola deberán tenerse en cuenta las recomendaciones incluidas en la Ficha 10 (Drenajes adaptados para peces).
- En el tramo de vía que integre la estructura se dispondrán apantallamientos en sus márgenes para reducir las perturbaciones de luz y ruido generados por el tráfico. Ello será indispensable en los márgenes de vías de intensidad de tráfico media o alta.

Viaductos adaptados

- Las adaptaciones seguirán las prescripciones técnicas incluidas en la Ficha 5, incluyendo como mínimo los aspectos que se detallan a continuación.
- En general, los viaductos requieren pocas modificaciones y son óptimas soluciones para la restauración de la conectividad ecológica. No obstante, es indispensable garantizar la ausencia de barreras transversales al curso (p. ej. escalones, pequeños azudes u otros). En caso de que existan, deberán modificarse constituyendo rampas de encachado con pendientes suaves, que faciliten que la fauna pueda superarlas.
- En caso de que discurran cursos que alberguen fauna piscícola deberán tenerse en cuenta las recomendaciones incluidas en la Ficha 10 (Drenajes adaptados para peces)
- Si se produce una inundación completa durante largos períodos de tiempo se dispondrá de franjas laterales secas. En el caso de

viaductos, este objetivo puede conseguirse mediante un perfilado de la base del curso, más profundo en la parte central del mismo y más elevado en los bordes de ambos lados de la estructura.

Vallados de conducción de los animales hacia los pasos

- Dependiendo del tipo de vía y de las especies objetivo debe evaluarse la posibilidad e idoneidad de instalar cerramiento perimetral en el tramo de actuación (véanse Fichas 14 y 15). El cerramiento debe instalarse entre las estructuras adaptadas, con sus extremos completamente anclados a las aletas o accesos de los pasos, sin dejar ningún espacio o apertura que permita a los animales acceder a la vía.
- En todos los casos, se adecuarán los accesos para facilitar la conducción de la fauna hacia la estructura. Cuando sea posible, se revegetarán los accesos, facilitando una buena conexión entre las estructuras y los hábitats. Adicionalmente, pueden facilitarse refugios o hábitats específicos para las especies objetivo en las entradas de los pasos o disponer hileras de piedra, muretes de piedra seca u otros elementos que actúen como elementos de conducción (véase Ficha 12).

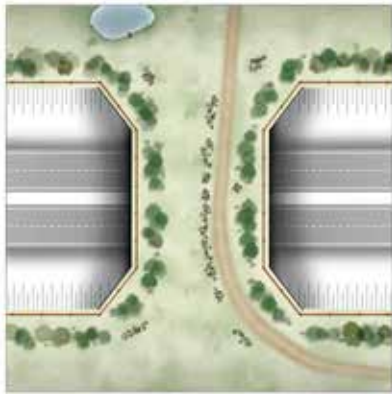


Figura 13.1. Correcto diseño de la superficie de un paso superior que se ha adaptado para facilitar su uso por parte de la fauna. Fuente: 'IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook', adaptado de Iuell et al., 2003.



Figura 13.2. Adaptación de un paso superior de restitución de un camino. La instalación de la pantalla opaca evita perturbaciones generadas por el tráfico de la vía que discurre bajo el mismo. El sustrato naturalizado deja márgenes que se han revegetado, sin instalar bordillos ni barreras de separación. Foto: M. Linqvist.



Figura 13.3. En caso de que la aridez u otras causas impidan la revegetación del paso se mantendrá un sustrato natural o de zahorras. Foto: Minuartia.



Figura 13.4. Franjas con vegetación a ambos lados de un camino con poco tráfico en un paso superior multifuncional. Foto: F. Nowicki ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 13.5. Pantalla instalada para reducir las perturbaciones generadas por el tráfico en un paso superior multifuncional, que cuenta con una protección metálica que reduce el riesgo de robo de las placas de madera. Fotos: Minuartia.



Figura 13.6. Drenaje adaptado para el paso de la fauna mediante la instalación de pasarelas secas laterales. A las banquetas de hormigón iniciales, se les añadieron plataformas de madera que se mantuvieron secas durante períodos más largos. Foto: Minuartia.



Figura 13.7. Adaptación de un drenaje mediante la instalación de banquetas secas laterales de hormigón a ambos lados de la estructura, antes y después de la actuación. Fotos: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 13.8. Las pantallas para reducir las perturbaciones en la superficie del paso deben ser completamente opacas. Foto: Minuartia.



Figura 13.9. Para dificultar el robo de las placas de madera es recomendable que las pantallas cuenten con la protección de una barra metálica en su parte superior que evite la extracción de los tablones. Foto: Minuartia.

Especies y grupos de referencia

- Ungulados y grandes carnívoros. Si la malla está correctamente instalada, tiene la base enterrada y tiene una reducida luz en la parte basal, también impedirá el paso de carnívoros de talla media, como el zorro o el tejón.
- Para las especies de menor tamaño son necesarios refuerzos, y estos también son recomendables para garantizar la efectividad del cerramiento cuando se trate de evitar atropellos de especies de alto interés de conservación, como la nutria (véase Ficha 15).
- El conejo, y otras especies conflictivas con capacidad de excavación, requieren refuerzos particulares que se describen en la Ficha 15.

Características y prescripciones básicas

- La instalación de un cerramiento perimetral permite reducir la mortalidad de fauna por atropello y aumentar la seguridad vial, disminuyendo el riesgo de accidentes causados por colisiones con fauna silvestre. Sin embargo, es imprescindible combinar el cerramiento con pasos de fauna, ya que, de otro modo, se incrementa el efecto barrera de la infraestructura.
- El cerramiento debe tener una doble función: evitar el acceso de los animales a las plataformas de circulación de vehículos y dirigirlos hacia los pasos de fauna. Esta función de guía se ve favorecida porque muchas especies se desplazan siguiendo la valla cuando esta se interpone en su trayectoria hasta localizar un punto para cruzar.
- En general, se recomienda instalar un cerramiento continuo en todas las vías cuya intensidad de tráfico supere los 25.000 vehículos/día, aunque la decisión de optar o no por la instalación de un cerramiento re-



Minuartia

quiere un análisis particular de cada situación y de los usos del suelo en los terrenos adyacentes a la vía.

- Puede requerirse la instalación de dispositivos de escape para facilitar la salida de animales que por diversas razones hayan conseguido entrar en tramos vallados. En este caso hay que considerar el riesgo que, debido al uso de dispositivos inadecuados, o a causa de un mantenimiento deficiente, constituyan puntos de entrada de animales (véase Ficha 16). Por ello, siempre es preferible un buen diseño y refuerzo de puntos vulnerables en el vallado, que eviten el acceso de fauna al interior de los tramos con cerramiento.

Ubicación

- Habitualmente los vallados se instalan en cabeceras de desmontes y al pie de terraplenes, integrando gran parte del área de dominio público. Esta práctica deja en el interior del cerramiento extensas superficies de los márgenes de las vías que cuentan con hábitats naturales que atraen a la fauna, conllevando efectos negativos. Por ejemplo, los jabalíes pueden vulnerar los vallados atraídos por bulbos de plantas o larvas de invertebrados que encuentran en los márgenes de las vías. En otros casos, los hábitats en el interior del tramo vallado albergan densas poblaciones de conejo que, además de causar daños en la propia infraestructura, atraen a predadores como

el zorro, el lince ibérico, o aves rapaces, aumentando su riesgo de mortalidad.

- Es recomendable por ello, considerar la posibilidad de instalar los cerramientos más próximos a las calzadas, aunque siempre manteniendo la distancia mínima para dar cumplimiento a la normativa, garantizar la seguridad vial y facilitar un adecuado mantenimiento. Con ello, quedan en el exterior del cerramiento gran parte de las superficies de los hábitats de los márgenes, reduciendo la atracción de fauna, y su riesgo de mortalidad (Figura 14.1).
- Además, la disposición del vallado con inclinación en forma de embudo hacia los accesos de las estructuras de paso de fauna, y firmemente anclado en sus aletas, facilita la conducción de los animales hacia los accesos de los pasos (Figuras 14.1 y 14.2)
- Los ramales de entrada y salida de vías con cerramiento perimetral requieren el diseño de soluciones adaptadas a las condiciones de cada tramo, para evitar que el jabalí, u otras especies, accedan a la vía por estos puntos. En general se recomienda continuar el vallado perimetral a lo largo de los carriles de acceso, instalando, en los casos más problemáticos, pasos canadienses o mallas electrificadas para impedir que los animales puedan utilizar las propias calzadas para entrar en la vía (Ficha 17). También se están ensayando sistemas de instalación de dispositivos disuasorios (Ficha 20), aunque no se cuenta todavía con suficiente evidencia empírica sobre su efectividad a medio y largo plazo.

Cerramientos discontinuos

- En vías cuya intensidad de tráfico es inferior a 25.000 vehículos/día la instalación de cerramiento solo es recomendable en tramos especialmente conflictivos. No obstante, para evitar que estos vallados discontinuos generen una concentración de atropellos al final del tramo vallado, el cerramiento siempre deberá conducir a los

animales hacia pasos de fauna u otras estructuras transversales que permitan a la fauna cruzar la vía sin riesgo de atropello (viaductos, túneles, pasos inferiores o superiores, etc.). Es particularmente importante que los extremos del tramo vallado conduzcan directamente a una de estas estructuras y que no queden discontinuidades entre el vallado y las estructuras de cruce (Figuras 14.2 y 14.4).

- En caso de que la prescripción anterior no sea viable, el cerramiento cubrirá toda la extensión del tramo conflictivo y un mínimo de 500 m a cada lado, finalizando en sectores de trazado rectilíneo, con óptima visibilidad para el conductor, y en los que se instalará señalización de advertencia reforzada (véase Ficha 18), o bien, para conseguir mayor efectividad de la señalización activada por sensores de detección de fauna (véase Ficha 19). Aun así, hay que tener en consideración el riesgo de que esta actuación pueda generar un punto de concentración de atropellos en los extremos del tramo vallado.
- En carreteras secundarias y en vías de servicio suelen existir caminos de acceso a la calzada, que suponen discontinuidades en el cerramiento y en los que deberán instalarse sistemas para evitar el acceso de los animales por estos puntos (véase Ficha 17).

Tipo de malla e instalación del cerramiento

- El cerramiento se realizará preferiblemente con malla anudada (con nudo bisagra, o fijo, si se precisa mayor resistencia), rectangular, preferentemente de densidad progresiva, y de alambres galvanizados. También podrá utilizarse malla de simple torsión, aunque debe tenerse en cuenta que, en algunos casos, los jabalíes consiguen deformar la malla y abrir huecos, accediendo a la vía en tramos vallados.

- Los postes de tensión serán de acero galvanizado y es fundamental que estén firmemente anclados al terreno con buenas cimentaciones, y que se dispongan de manera que consiga mantener la malla con una tensión adecuada. La distancia entre postes debe ser entre 4 y 6 m como máximo, siendo menor cuando el terreno sea irregular (Figura 14.3).
- La instalación de la malla, en caso de que no esté enterrada, se realizará ajustándola completamente a la base del terreno, sin que queden orificios o puntos vulnerables por los que los animales puedan penetrar en la vía. No obstante, es preferible enterrar la base de la malla como mínimo 20 cm, y ello es indispensable para garantizar la efectividad del cerramiento en zonas con abundancia de jabalí, y también para otras especies con capacidad de excavación (véase Ficha 15).
- En los puntos de unión del cerramiento con los accesos a pasos de fauna, viaductos, etc., los postes de sujeción de las mallas deben estar correctamente aplicados a las aletas o a los estribos de las estructuras (Figura 14.2 y 14.4).
- Las intersecciones del cerramiento con una cuneta de drenaje perimetral son particularmente difíciles de resolver. Una de las opciones consiste en instalar una porción de malla complementaria que se ajuste completamente a la base de la cuneta, o incorporar barras transversales que, sin impedir el flujo del agua, eviten la entrada de animales (Figura 14.6).

Dimensiones

- La altura recomendada de la valla y la distancia entre los postes varían en función de las especies a las que va destinado el cerramiento y según se indica a continuación.

Especies presentes en la zona	Jabalí	Corzo Gamo	Ciervo
Altura mínima sobre el terreno (m)	1,60-1,80	1,60-1,80	2,20
Separación entre postes de sujeción (m)	2-4	4-6	4-6

- El tipo de cerramiento que se recomienda en general es de 2 m, de los cuales, 1,80 m se encuentra por encima del nivel del terreno y los 20 cm iniciales enterrados (Figura 14.3). Este cerramiento es adecuado para jabalí, especie que tiene una distribución muy amplia y con poblaciones que alcanzan altas densidades. La distancia entre los hilos verticales de la malla anudada será de 15 cm, y la distancia entre los horizontales aumentará progresivamente, desde 5 cm en la parte inferior hasta 15-20 cm en la superior.
- Para prolongar la altura del cerramiento, especialmente en zonas con ciervo o gamo (*Dama dama*), pueden colocarse dos hilos de acero galvanizado en su parte superior. Debe evitarse en todo caso el uso de alambre de espino, ya que generan un riesgo de mortalidad para la fauna, en particular para las aves. El poste de tensión formará ángulo hacia el exterior de la vía en este extremo, con el objetivo de dificultar aún más los intentos de salto de algunas especies (Figura 14.7).

Refuerzos de vallado y condiciones particulares para algunas especies

En este apartado se facilitan prescripciones para el refuerzo de vallados para ungulados y grandes mamíferos. Para el caso de otras especies de tamaño más reducido (conejo u otras) véase los refuerzos descritos en la Ficha 15.

Refuerzos para jabalí

- En cerramientos ya instalados que no se hubieran enterrado en la base un mínimo de 20 cm, como se recomienda para el jabalí, y en los que esta especie acceda a los tramos vallados levantado la parte inferior de las mallas, es posible solventar el problema instalando refuerzos en la base del cerramiento.
- El refuerzo que se ha mostrado efectivo para contener al jabalí consiste en la instalación de malla electrosoldada, rígida, con rectángulos de 5 cm de ancho por 30 cm de alto.
- La malla de refuerzo se aplica en la parte exterior del vallado, anclándola al vallado existente, y debe estar enterrada o hincada en el terreno.
- Este tipo de malla se distribuye en paneles que pueden tener 60 o 90 cm de altura. Con carácter general se recomiendan paneles de 60 cm de los cuales se cortará el primer hilo transversal quedando una hilera de púas que permiten clavar el panel, dejando enterrados un mínimo de unos 20 cm. En este caso, quedarán unos 40 cm por encima del nivel del terreno, y se anclarán en la malla existente. En caso de mallas de simple torsión, en las cuales el jabalí abra huecos a alturas mayores, se podrán instalar paneles de 90 cm, de los cuales al menos 20 cm quedarán enterrados (Figuras 14.8 y 14.9).

Vallado específico para oso pardo

- En el caso del oso, los cerramientos convencionales para grandes mamíferos pueden no ser suficientes. Por ello, en los tramos especialmente conflictivos se deben aplicar cerramientos específicos para oso (véase Ficha 33). Un tipo de malla que se ha mostrado efectiva en las pruebas realizadas en Italia y Grecia es la de triple torsión de 10 x 10 cm de luz (o inferior), alambres de 2,7 mm de grosor y 3 m de altura, con los 80 cm superiores formando una visera con un ángulo de 45° hacia el exterior de la

vía. La parte inferior del cerramiento debe ser reforzada con un faldón horizontal de 1,2 m, formando una L hacia la parte exterior del vallado, para evitar que los osos excaven por debajo (Figura 14.10). Este tramo horizontal de malla deberá quedar cubierto por tierras. Los postes de sujeción deben ser también reforzados, con un mínimo de 60 mm de diámetro y 4 mm de grosor, si se trata de postes metálicos huecos. La separación máxima entre ellos debe ser de 2m, disponer de contrafuertes y estar firmemente anclados al terreno mediante bases de hormigón. Además, deberán instalarse tensores de acero galvanizado, o aplicar otras técnicas que garanticen una fuerte tensión.

Vallado específico para lince ibérico

- En el caso del lince ibérico, a la facilidad de trepar se suma su extraordinaria capacidad para el salto. Para esta especie se recomiendan cerramientos de malla galvanizada de simple torsión (aunque si en la zona constituye un problema el jabalí, es probable que se precise un refuerzo de vallado; ver 'Refuerzos para jabalí' en esta misma Ficha) o electrosoldada, que deberán alcanzar una altura de 200-250 cm por encima del nivel del terreno. La parte basal del vallado contará con un faldón adicional de refuerzo para evitar el alzamiento de la malla (Figura 14.11), que se enterrará o se anclará al terreno con piquetas y se cubrirá con tierras. Podrá ser de malla de triple torsión galvanizada o de otro tipo. Además, en la parte superior de la malla se pondrá una visera que formará un ángulo de 45° hacia el exterior de la vía, como en el caso del oso, aunque en este caso será suficiente con 50 cm (Figura 14.12). Los postes estarán separados entre ellos unos 4 m y se colocarán cables tensores, en el extremo superior en el ángulo en visera en el punto medio del cerramiento y en la rasante con el suelo.

Mantenimiento

- La inspección periódica del cerramiento es imprescindible para detectar y resolver posibles deficiencias. Los desperfectos más habituales son los levantamientos de la base de la malla provocados por los intentos de los animales de pasar por debajo de ella o por la acción del agua en las intersecciones con cunetas de drenaje perimetral, los desajustes entre la base de la malla y el terreno (en los casos en los que no tiene la base enterrada) y los desajustes entre el vallado y las aletas de estructuras transversales (drenajes, pasos superiores e inferiores, viaductos, etc.).
- Todos estos aspectos deberán incluirse en los chequeos periódicos del cerramiento. El primer año después de la instalación del cerramiento se recomienda realizar una inspección cada tres meses y, posteriormente, al menos una vez cada seis meses, aunque la frecuencia de los controles deberá adaptarse a la situación local.
- Cuando se produzca un accidente debido a una colisión con fauna deberá realizarse una inspección detallada del cerramiento, al menos 1 km en cada sentido de la vía, hasta detectar puntos vulnerables por los cuales los animales hayan podido acceder al interior del vallado, y proceder a su reparación.
- Con el objeto de facilitar la inspección y conservación del cerramiento es aconsejable desbrozar un pasillo adyacente a la malla por la parte exterior del vallado. Esta actuación también evitará que el crecimiento de arbustos o árboles pueda causar desperfectos en el cerramiento y que facilite el acceso de animales que con capacidad para trepar por la vegetación.

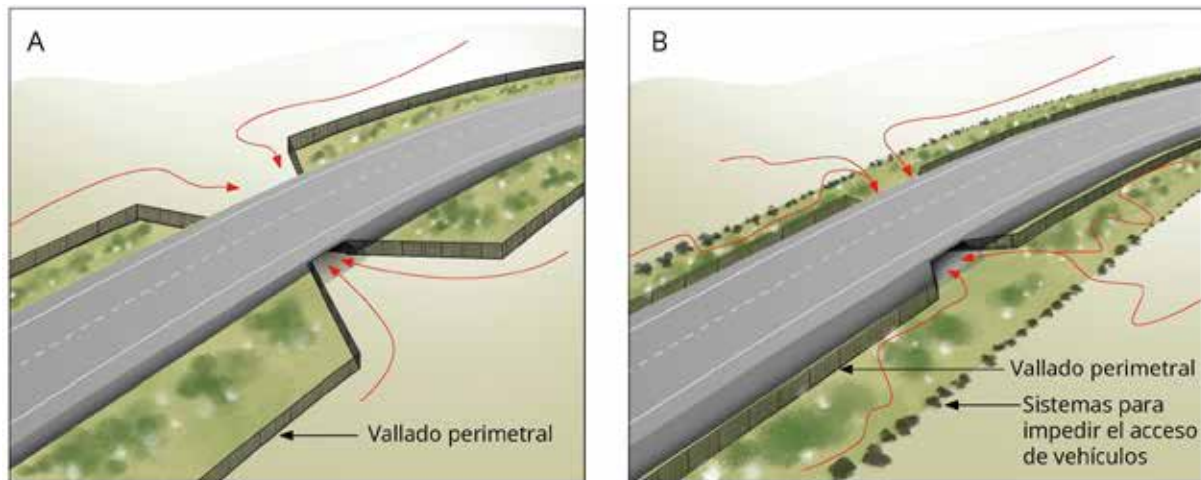


Figura 14.1. Disposición del vallado en relación con los pasos de fauna. A: El vallado con disposición inclinada en forma de embudo hacia los accesos del paso, conduce a los animales hacia las entradas; no obstante, en este ejemplo los hábitats de los márgenes quedan en el interior del cerramiento atrayendo a la fauna; B: Opción más favorable que sitúa el vallado próximo a la calzada (siempre garantizando el cumplimiento de las normativas de seguridad al respecto), dejando una mayor extensión de márgenes en el exterior. (Fuente: 'IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook', adaptado de Cerema (2021)).

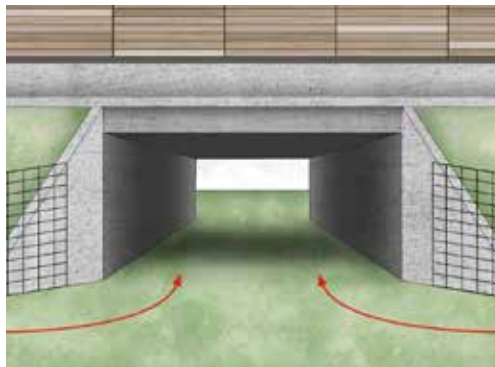


Figura 14.2. Vallado perimetral adosado a las alas de la estructura destinada al paso de fauna, que conduce a los animales hacia sus accesos. Fuente: AT-Minuarta ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').

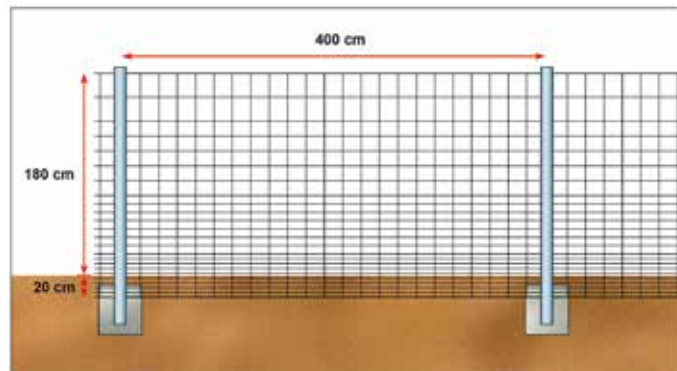


Figura 14.3. Esquema general del cerramiento perimetral para grandes mamíferos, con base enterrada para evitar el acceso de jabalí. Además, debe garantizarse una óptima tensión de la malla, con la instalación de tensores o mediante otras técnicas. Fuente: AT-Minuarta.



Figura 14.4. Una correcta instalación del vallado perimetral, adosado a las alas de las estructuras transversales (en este caso un drenaje) facilitan su uso por parte de la fauna, reduciendo el riesgo de que puedan acceder a la calzada. Foto: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.



Figura 14.5. El cerramiento conduce los movimientos de los animales hasta localizar los pasos. Foto: C. Rosell.



Figura 14.6. Dos alternativas de sistemas destinados a impedir el paso de animales por los puntos de intersección del cerramiento con las cunetas de drenaje perimetral. Fotos: Minuartia.

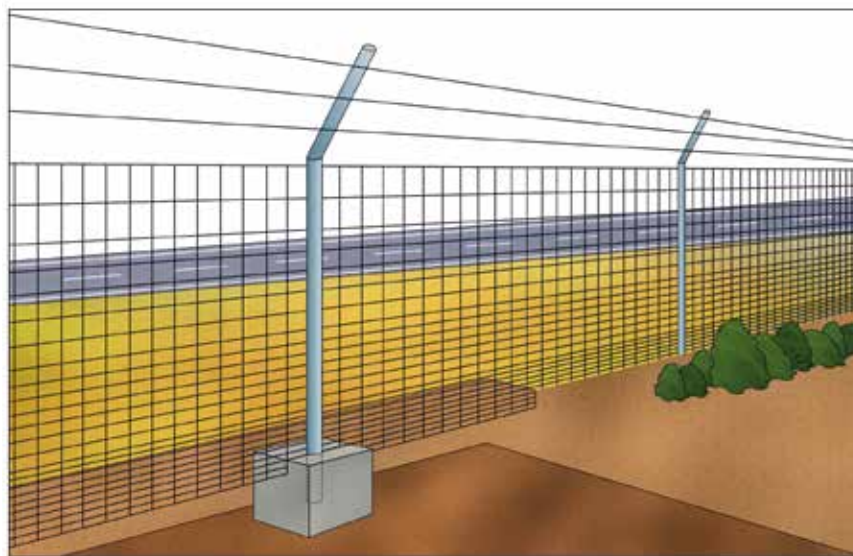


Figura 14.7. El cerramiento puede prolongarse mediante postes terminados en ángulo hacia el exterior y alambres de acero galvanizado. Siempre es preferible que la base de la malla esté enterrada para evitar el acceso de jabalí. Fuente: AT-Minuartia.



Figura 14.8. Refuerzo para jabalí de malla electrosoldada rígida en un tramo del vallado especialmente conflictivo. Foto: Túnel Barcelona-Cadí.



Figura 14.9. Detalle de un panel de malla electrosoldada rígida para refuerzo de vallados, mostrando en la parte inferior la hilera de hilos cortados en forma de púas que permiten clavar la parte inferior en el terreno. Foto: C. Rosell.



Figura 14.10. Vallado específico para oso instalado en autopistas en Grecia, que cuenta con voladizo superior y faldón inferior (antes de ser enterrado). Foto: L. Georgiadis.



Figura 14.11. Refuerzo de malla de triple torsión en forma de L en la parte basal de un vallado para lince. Foto: Junta de Comunidades de Castilla - La Mancha.



Figura 14.12. Cerramiento específico para lince ibérico. Foto: S. Banuls.

Malas prácticas y errores más frecuentes

Figura 14.13. Distintas especies accediendo al interior del cerramiento perimetral por puntos vulnerables. Fotos: ADIF - Alta Velocidad.



Figura 14.14. La malla debe conducir al paso sin dejar zonas abiertas de acceso al talud. Foto: C. Rosell.



Figura 14.15. Malla sin enterrar que ha sido levantada por los animales. Foto: M. Oñorbe.



Figura 14.16. La falta de mantenimiento facilita la entrada de animales en las vías. Foto: F. Navàs.



Figura 14.17. Ajuste deficiente entre la valla y la aleta del paso. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos de referencia

- Pequeños y medianos mamíferos como el erizo (*Erinaceus europaeus*), el conejo, mus-télidos, etc. y algunos reptiles, especial-mente las tortugas.
- No es adecuado para los anfibios que re-quieren otro tipo de cerramientos específi-cos (véase Ficha 11).

Características y prescripciones básicas

- La malla anudada rectangular que se aplica en cerramientos perimetrales para gran-des mamíferos (véase Ficha 14) no evita el paso de las especies más pequeñas, que requieren una malla específica de menor luz. Además, algunas especies son capaces de trepar por la malla o de excavar, por lo cual es necesario aplicar cerramientos específicos que impidan o dificulten estas actividades.
- Este tipo de cerramientos son especial-mente recomendables en tramos en los que se produzca (o se prevea que pueda producirse) una elevada mortalidad de una especie en concreto.
- Los vallados para pequeños vertebrados se aplican habitualmente como refuerzos en la base de los destinados a grandes ma-míferos. Deberán instalarse en su parte exterior y anclados a la malla convencional (Figura 15.1).
- La instalación del cerramiento deberá rea-lizarse siempre combinada con pasos de fauna adecuados para las especies a las que vayan destinados.

Tipo de malla e instalación del cerramiento

- El cerramiento se realizará, preferiblemen-te, con malla electrosoldada rígida y con



C. Rosell

postes de tensión de acero galvanizado. Para algunas especies, como la nutria, tam-bién pueden aplicarse mallas de simple torsión, pero son menos recomendables porque se deforman con mayor facilidad.

- La instalación de la malla se realizará ente-rando los 20 cm iniciales.
- Es aconsejable disponer una visera en la parte superior de la malla, en sus últimos 5 cm, formando un ángulo de 45° hacia el exterior de la vía, con el objetivo de impe-dir que los animales que intenten trepar puedan continuar su ascenso por la malla (Figura 15.2).
- En los puntos de unión del cerramiento con los accesos a pasos de fauna, viaduc-tos, etc., los postes de sujeción de las ma-llas deben estar correctamente aplicados a las aletas o a los estribos de las estructuras (Figuras 12.1 y 14.2).
- Los puntos en los que se produce la intersec-ción del cerramiento con una cuneta de dre-naje perimetral son particularmente difíciles de resolver. Una de las opciones consiste en instalar una porción de malla complementa-ria que se ajuste completamente a la base de la cuneta o incorporar barras transversales que, sin impedir el flujo del agua, eviten la entrada de animales (Figura 14.6).
- Si el vallado discurre por zonas de alto in-terés para las aves esteparias como la avu-tarda (*Otis tarda*) es recomendable seña-lizar la parte superior con marcas visibles

para evitar la mortalidad de aves por colisión (véase Ficha 24).

- Se han aplicado también otros tipos de materiales, como acero, hormigón o polímeros reciclados, como los utilizados para las estructuras de guía de los pasos para anfibios (véase Ficha 11). Estos materiales son especialmente recomendables para especies trepadoras como pueden ser los reptiles o los micromamíferos (Figura 15.3).

Dimensiones

- La altura estándar de la malla será de 60 cm por encima del nivel del terreno. Esta altura puede ajustarse en función de las especies a las que vaya destinado el cerramiento; para tortugas es suficiente con 40 cm.
- Los 20 cm de la base se enterrarán en el terreno. Para prevenir el acceso de las especies con mayor habilidad para excavar se recomienda enterrar 50 cm de la base en forma de L (20 cm en vertical y los 30 cm del extremo inferior doblados en horizontal hacia el exterior del vallado).
- La luz estándar de la malla será de 2 x 2 cm, aunque puede adaptarse, a criterio de personas expertas, en función de la especie concreta a la cual vaya destinado el cerramiento. Para tortugas terrestres se recomienda de 1 x 1 cm, para nutrias, en cambio, con 4 x 4 cm es suficiente.
- Por ello, es importante contar con el asesoramiento de expertos en la ecología de estas especies para adaptar las recomendaciones generales a cada situación particular. También es importante recordar, una vez más, que los cerramientos que se describen deben conducir a los animales hacia pasos de fauna, viaductos o túneles que les permitan franquear la vía.
- En el caso del **visón europeo** y otros mustélidos semiacuáticos (véase Ficha 32), el problema lo genera su facilidad para trepar, llegando a superar vallados de más de 2 m de altura. Para este grupo se recomiendan cerramientos de malla electrosoldada de 2 x 2 cm de luz, de una altura de 1 m como mínimo y con el extremo terminal formando un ángulo de 45° hacia el exterior de la vía. Con ello se pretende impedir que los individuos que trepen por la malla consigan alcanzar su extremo terminal. La malla estará enterrada en su base para evitar que los desajustes con el terreno puedan dejar aberturas por las que los animales consigan entrar en la vía.
- En el caso de la **nutria**, son efectivos los refuerzos del cerramiento de malla electrosoldada o hexagonal de triple torsión de 4 x 4 cm de luz y 1 m de altura, con los 20 cm de la base enterrados. En tramos donde reiteradamente las nutrias superen el vallado, puede ser necesario colocar una valla de mayor altura (1,6 m) reforzada por la parte superior (visera de 30 cm con un ángulo de 45° hacia el exterior de la vía (Figura 15.4)).
- El **conejo** es una especie particularmente problemática, debido a su extraordinaria capacidad para excavar. Para esta especie y otras con hábitos excavadores (p. ej.: zorro, tejón, etc.) se recomiendan cerramientos de malla hexagonal de triple torsión de 3 x 3 cm de luz y una altura de 60 cm sobre el terreno. Es especialmente importante que la parte basal esté enterrada formando una L, con 20 cm en vertical y entre 20

Recomendaciones específicas para algunos grupos taxonómicos

- Algunos animales son especialmente difíciles de contener con los cerramientos. Es el caso del visón europeo, calificado como especie 'En peligro de extinción' y cuya conservación es prioritaria. También otras especies como el conejo (*Oryctolagus cuniculus*) o el camaleón presentan especiales dificultades.

y 50 cm extendidos en horizontal hacia el exterior del vallado). Los vallados de malla electrosoldada desarrollan la misma función y garantizar mayor resistencia y durabilidad, aunque tienen un coste más alto (Figura 15.5).

- Para reducir el riesgo de mortalidad de **murciélagos** (véase Ficha 31) por colisión con vehículos o ferrocarriles hay que recurrir a una tipología particular de cerramiento diseñado para guiar su trayectoria de vuelo hacia puntos de cruce seguros (túneles, viaductos y pasos superiores o inferiores, e incluso drenajes si presentan las características adecuadas). En vías de reducida anchura, como ferrocarriles o carreteras de un carril por sentido de circulación, se han mostrado efectivas (aunque no evitan completamente los cruces) las pantallas de 5 m de altura de malla de simple torsión y 5,5 x 5,5 cm de luz, instaladas en los bordes de la plataforma y a ambos lados de la misma (Figura 15.6). En vías de mayor anchura, como carreteras de dos carriles por sentido de circulación, se ha recomendado la instalación de una estructura de malla de tipo túnel, cerrada por su parte superior (Figura 15.7), ya que se ha comprobado que las especies de murciélagos de vuelo raso pueden remontar y superar los vallados para grandes mamíferos (de hasta 2,20 m de altura sobre el terreno en caso de ciervo; véase Ficha 14) y cruzar la vía por alturas a las que se exponen al riesgo de colisión con los vehículos. Actualmente se sigue experimentando con distintas dimensiones y características de vallados, ya que los resultados obtenidos no son todavía concluyentes. También son efectivas las hileras de árboles a ambos lados de las vías, para elevar el vuelo, o reforestaciones específicas que guíen sus rutas hacia pasos de fauna (véase Ficha 31)
- El **camaleón**, un reptil de distribución muy localizada, muestra también una notable capacidad para superar las vallas, sea trepando o excavando. Para esta especie se

recomienda aplicar un refuerzo completamente liso como las estructuras de guía para los anfibios (véase Ficha 11), aunque de 60 cm de altura. Hay que evitar que la vegetación arbustiva o arbórea de los terrenos adyacentes contacte con la valla ya que, de lo contrario, los camaleones podrán trepar por ella y alcanzar la parte superior del cerramiento. Además, es imprescindible que el refuerzo que se instale para esta especie esté enterrado 20 cm por debajo del suelo para evitar que superen la valla excavando.

Mantenimiento

- La inspección periódica del cerramiento es imprescindible para detectar y resolver posibles deficiencias. Los desperfectos más habituales son los levantamientos de la base de la malla provocados por los intentos de los animales de pasar por debajo de ella o por la acción del agua en las intersecciones con cunetas de drenaje perimetral, los desajustes entre la base de la malla y el terreno (en los casos en los que no tiene la base enterrada) y los desajustes entre el vallado y las aletas de estructuras transversales (drenajes, pasos superiores e inferiores, viaductos, etc.).
- Todos estos aspectos deberán incluirse en los chequeos periódicos del cerramiento. El primer año después de la instalación del cerramiento se recomienda realizar una inspección cada tres meses y, posteriormente, al menos una vez cada seis meses, aunque la frecuencia de los controles deberá adaptarse a la situación local.
- Con el objeto de facilitar la inspección y conservación del cerramiento es aconsejable desbrozar un pasillo adyacente a la malla por la parte exterior del vallado. Esta actuación también evitará que el crecimiento de arbustos o árboles pueda causar desperfectos en el cerramiento y que facilite el acceso de animales con capacidad para trepar por la vegetación.

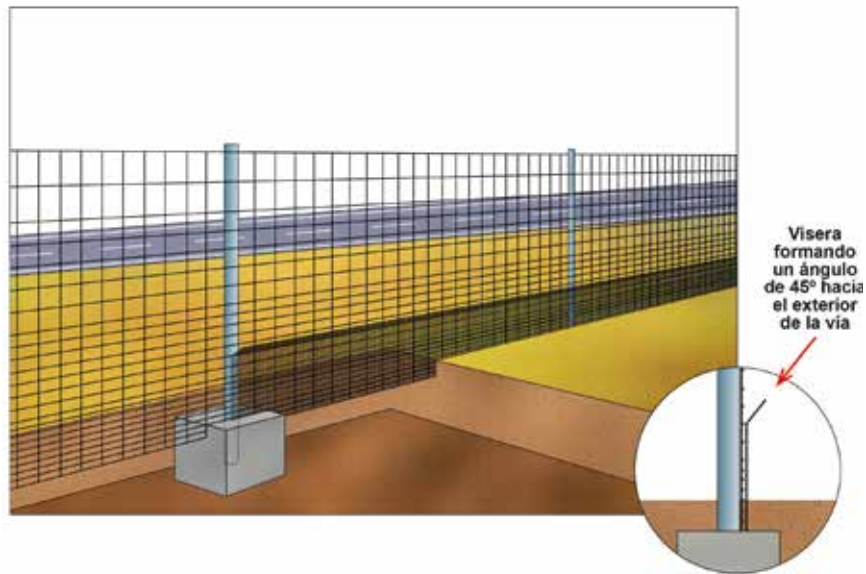


Figura 15.1. Esquema de instalación de una malla de refuerzo para impedir el paso de pequeños vertebrados, adosada a la base de un cerramiento para grandes mamíferos. Fuente: AT-Minuartia.



Figura 15.2. Instalación de un refuerzo para pequeña fauna en la parte exterior del cerramiento convencional. Este refuerzo no es aplicable para anfibios, que requieren vallas opacas. Foto: C. Rosell.



Figura 15.3. El uso de materiales alternativos que provean una superficie lisa y opaca, como el hormigón (A), metal (B) o polímeros reciclados (C), son especialmente indicados para especies trepadoras como los anfibios y los reptiles. Fotos: Animex Internacional y Minuartia ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 15.4. Cerramientos que combinan voladizo en su parte superior, para impedir el salto de cérvidos, y refuerzo basal para evitar el acceso de pequeños vertebrados. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 15.5. Refuerzo de malla electrosoldada rígida en forma de L en la parte basal del cerramiento para evitar el acceso de especies excavadoras como el conejo o el zorro. Foto: Aeropuerto de Barcelona.



Figura 15.6. Cerramiento anticolidión para murciélagos de 5 m de altura y malla de simple torsión en una línea de ferrocarril de alta velocidad. Foto: ADIF.



Figura 15.7. Estructura de red de poliamida constituyendo una cobertura en túnel para prevenir la colisión de murciélagos en una carretera. Foto: M. Fernández Bou.

Especies y grupos de referencia

- Mamíferos, especialmente ungulados y carnívoros.
- También existen rampas adaptadas para facilitar la salida de pequeños animales, como anfibios y reptiles.

Características y prescripciones básicas

- En tramos de vías con cerramiento perimetral en los que, por alguna razón particular, exista un alto riesgo de que los animales consigan entrar en la plataforma y queden atrapados en la zona interior del vallado, cabe considerar la posibilidad de instalar sistemas que permitan que estos animales puedan retornar a la parte exterior de la vía.
- Los dispositivos de escape sólo deben incorporarse al vallado si se garantiza que permiten la salida de animales, pero no su entrada, ya que se ha constatado que en muchas ocasiones constituyen puntos de acceso a las vías, debido a un inadecuado diseño, o falta de conservación.
- Estos sistemas de escape pueden localizarse en puntos con una problemática específica, adaptándose a la fauna objetivo y a las características específicas del lugar, y atendiendo a la configuración del cerramiento perimetral y a los estudios de las poblaciones de fauna en la zona.
- Aunque existe una gran variedad de diseños, pocos de ellos cuentan con seguimientos que validen su efectividad. En esta Ficha se describen únicamente los dos tipos básicos: las rampas, asociadas a zonas de salto al exterior, y las puertas de escape, que pueden ser simples o dobles. Asimismo, se describen recomendaciones sobre rampas de escape para anfibios y reptiles.



Minuartia

Rampas

- Los sistemas más recomendables para permitir la salida de animales atrapados en tramos vallados son **rampas de tierras compactadas que facilitan el salto al exterior**. Consisten en la acumulación de materiales adosados a la parte interior del cerramiento, formando un medio cono o una doble rampa (con accesos en ambos sentidos de la marcha) de pendiente suave, y que facilita el salto desde la parte superior del vallado. De este modo los animales atrapados que se desplacen por el margen de la vía podrán ascender por las rampas y saltar a la parte exterior (Figura 16.1).
- La superficie de las rampas debe ser rugosa para facilitar la adherencia incluso cuando estén mojadas. Las de tierra son preferibles a las de hormigón.
- La disposición en medio de la rampa de un tramo de valla perpendicular al cerramiento facilita que los animales asciendan por la pendiente y salten al exterior (Figura 16.1).
- Una variante, más compleja y que requiere mayor mantenimiento, son las dobles rampas, con un acceso separado para cada sentido de la marcha, y cuya salida se dispone en una discontinuidad del cerramiento (Figura 16.2). Estas rampas conducen de manera efectiva a los animales hacia el exterior del cerramiento.

- Las rampas que solo permiten el acceso desde uno de los sentidos de la marcha se desaconsejan porque es más difícil que los animales que se desplazan siguiendo el vallado en ambas direcciones localicen la salida.
- Para conseguir una mejor integración en el entorno las rampas pueden ser revegetadas, y con las paredes laterales de madera tratada. Estos sistemas son los más comúnmente aplicados para ungulados en países del centro de Europa, aunque requieren una notable inversión para su conservación (Figuras 16.2).
- Las rampas situadas en terraplenes son otra variante que permite el salto al exterior. En este caso pueden situarse adosadas al vallado situado en la base de un terraplén y las tierras pueden disponerse en forma de medio cono (Figura 16.3).
- También se construyen rampas con tocónes de árboles, en este caso, para facilitar la salida de carnívoros, entre ellos el lince ibérico (Figura 16.4).
- Las dimensiones de estas rampas vendrán determinadas por las características de la vía, y en particular, de la anchura de sus márgenes, así como de las especies a las que se destinen. Se requieren más estudios para verificar las dimensiones a prescribir en Europa, aunque en general, se recomienda una anchura mínima de 80 cm y un desnivel del salto de entre 150 y 180 cm. Este se adaptará según las especies existentes para facilitar el salto al exterior sin permitir que los animales puedan acceder a la vía por estos puntos. Es importante tener en cuenta que una excesiva altura puede conllevar riesgos para los animales, particularmente de roturas de patas en ungulados.
- La superficie de recepción del salto en el exterior del vallado perimetral debe acondicionarse asegurando que no existen piedras, desniveles u otros elementos que comporten riesgos para la fauna.

- Seguimientos de estos dispositivos han confirmado que permiten la salida de carnívoros de mediano tamaño y algunos ungulados. Es importante continuar dichos seguimientos para mejorar los diseños y en particular, para precisar las prescripciones técnicas de la altura desde la que se facilita el salto al exterior, así como los sistemas para facilitar que los animales identifiquen los puntos habilitados para la salida.

Puertas de escape

- Otro método que se aplica para facilitar el escape de animales, aunque con frecuencia también facilita la entrada de fauna hacia el interior del cerramiento, es la instalación de puertas con muelles, basculantes o de otro tipo, que difieren según las especies a las que van destinadas. Las puertas con muelles, que se abren cuando el animal ejerce ligera presión desde el interior, como la que se muestra en la Figura 16.6, se utilizan para facilitar la salida de tejones atrapados en tramos vallados en algunos países centroeuropeos.
- En general, se desaconsejan los dispositivos metálicos y complejos, debido al elevado mantenimiento que requieren, y sin el cual, el óxido, las roturas, el crecimiento de vegetación o el arrastre de tierras o piedras en épocas de lluvias, conllevan que las puertas se mantengan abiertas, constituyendo puntos que facilitan la entrada de fauna al interior de tramos vallados (Figuras 16.7 y 16.8). Estas deficiencias comportan que el cerramiento perimetral pierda su funcionalidad.

Dispositivos de escape para anfibios y reptiles

- Los anfibios necesitan cerramientos particulares que funcionan como estructuras de guía hacia los pasos para anfibios (véase Ficha 11), y que también son efectivos para algunos reptiles. Existen cerramientos de

polímeros reciclados que, por la parte interior al vallado tienen una superficie rugosa para permitir a los anfibios y reptiles trepar y saltar al exterior, mientras que la parte exterior es lisa, para evitar el acceso.

- Otra posibilidad es la disposición, en la parte interior del vallado, de troncos o gravas, formando pequeñas rampas que permitan el escape de los pequeños animales atrapados en la parte interior del vallado (Figura 16.5).

Otros dispositivos de escape

- Existen otros muchos diseños de dispositivos de escape distribuidas por distintos proveedores, algunos de ellos incorporando sensores de detección de fauna para su activación. En el caso que se aplique alguno de ellos, es indispensable que se disponga seguimiento para evaluar su efectividad. Es recomendable descartar en todo caso, aquellos que dispongan de mecanismos complejos, y que requieran frecuentes acciones de conservación.

Rampas



Figura 16.1. Rampa de tierra compactada que dispone de un tramo de valla perpendicular al cerramiento perimetral para facilitar el acceso de animales y conducirlos hacia la zona de salto al exterior. Vistas desde el interior y el exterior del cerramiento. Fotos: C. Rosell.



Figura 16.2. Rampa de doble sentido, de tierra compactada, en las que los animales que siguen el vallado son conducidos hacia al exterior del cerramiento perimetral. La madera tratada y la revegetación mejoran su integración con el entorno. Fotos: C. Rosell.



Figura 16.3. Dos alternativas de rampas situadas en terraplenes. A la izquierda, rampa en medio cono en la base de un terraplén. A la derecha, rampa a medio terraplén, y creando una discontinuidad en el vallado que facilita el salto al exterior. Fotos: CEDEX y M. Olsson ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').

⚠ Indica que esta medida requiere seguimiento y evaluación de la efectividad, ya que existe evidencia limitada sobre sus resultados, en particular sobre la altura de salto.



Figura 16.4. Rampas para facilitar la salida de carnívoros instaladas en el interior de un vallado. Fotos: C. Rosell ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 16.5. Rampas para anfibios y reptiles instaladas en la parte interior de un vallado de guía de un paso para anfibios. Fotos: Animex Internacional ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 16.6. A la izquierda, puerta de escape doble. A la derecha, puerta de escape específica para tejón. Ambos ejemplos disponen de vallado, perpendicular al cerramiento, para interceptar los movimientos de la fauna y guiarlos hacia las puertas de salida. Este tipo de dispositivos requieren frecuentes acciones de conservación y, si no cuentan con un mantenimiento adecuado, pueden convertirse en puntos de entrada de fauna al interior de la vía. Fotos: M. Oñorbe y C. Rosell.

Malas prácticas y errores más frecuentes

Figura 16.7. Diseño de un portillo de escape para ungulados que posibilita que se mantenga abierto permitiendo el libre acceso de animales (y personas) al interior del tramo vallado. Fotos: F. Navàs.



Figura 16.8. Puertas basculantes de escape para medianos carnívoros que quedan entreabiertas a causa de la oxidación de las bisagras, crecimiento de vegetación u otras deficiencias, constituyendo un punto de entrada de animales al interior del vallado. Fotos: F. Navàs.

Especies y grupos de referencia

- Mamíferos, fundamentalmente ungulados, pero también carnívoros.

Características y prescripciones básicas

- En vías con cerramiento perimetral y accesos segregados, se ha constatado que se producen entradas de animales (en particular jabalíes y otros ungulados) a la plataforma de circulación a través de los ramales de entrada y salida a la vía, así como por enlaces o intersecciones de caminos que entroncan con las carreteras.
- En esta Ficha se describen sistemas para impedir que la fauna acceda a las carreteras por estas vías. Alternativamente, es posible considerar sistemas para intentar ahuyentar a la fauna, aunque estos todavía no cuentan con evaluación de efectividad contrastada (véase Ficha 19).

Pasos canadienses

- Estas estructuras, que normalmente se utilizan para evitar la salida de ganado en fincas cercadas, consisten en una fosa transversal al sentido de circulación de unos 30-50 cm de profundidad, cubierta con rejillas, tubos o barras metálicas, que deben estar separadas entre ellas unos 6 cm (Figuras 17.1 y 17.2). No es recomendable superar esta distancia ya que se podría producir riesgo de que ungulados de gran tamaño resulten atrapados por las patas.
- El material de las barras que cubren la fosa debe ser antideslizante para evitar accidentes, especialmente de motocicletas, y asegurar una resistencia suficiente para el paso de vehículos de gran tonelaje. Los soportes perpendiculares a la barras o tubos



C. Rosell

de la cubierta deben situarse por la parte inferior de la misma para evitar la existencia de una superficie plana y continua por la que algunos animales podrían cruzar el paso canadiense y acceder a la calzada (Figura 17.8).

- La longitud de la fosa variará en función de las especies de ungulados presentes en la zona, pero se recomienda en general un mínimo de 2 m, ampliando a 3 m en el caso del corzo y el ciervo, y hasta 4 m en áreas con presencia de gamo.
- Es esencial que no queden espacios que permitan el paso de animales entre los extremos del vallado y el paso canadiense (Figura 17.9). El cerramiento debe terminar justo en el inicio de la fosa del paso canadiense, sin dejar ningún espacio entre ambos. Es recomendable, además, la instalación de una sección de malla, totalmente adyacente a los dos márgenes laterales del paso, y perpendicular al vallado perimetral. La malla será electrosoldada rígida (de 30 x 5 cm) o anudada de tipo cinegético, o similar (véase Ficha 14).
- Para permitir la salida de los animales de pequeño tamaño que puedan caer en las fosas y para facilitar el mantenimiento, es recomendable que estas presenten aperturas laterales (Figura 17.3). Estas aperturas deben guiar a los animales hacia el exterior del vallado para no generar riesgo

de atropellos. Si esto no fuera posible, las paredes de sus extremos laterales deben estar construidas con una pendiente de 30° (o de hasta 45° como máximo) y presentar una superficie rugosa (Figura 17.5).

Puertas

- Como alternativa a los pasos canadienses, en accesos de caminos a fincas privadas o vías de servicio con poco tránsito, se puede optar por la instalación de puertas, dando continuidad al cerramiento, y de la misma altura que este (Figura 17.6).
- Es importante que la base de la puerta llegue hasta el suelo para evitar discontinuidades que puedan permitir la entrada de fauna (Figura 17.10). Alternativamente, o para adaptar puertas existentes, pueden instalarse paneles de malla electrosoldada (Figura 17.6) o placas de polímeros que cumplan dicha función (es importante que los materiales garanticen durabilidad y sean reciclables).
- Las puertas son menos recomendables que los pasos canadienses, siempre que éstos tengan un correcto mantenimiento, ya que pueden quedar abiertas en numerosas ocasiones por distintas razones (vandalismo, descuidos u otros).

Pasos canadienses sin fosa

- Una alternativa más sencilla de instalar y con menores costes son los pasos canadienses sin fosa, o pasos de rejilla. Consisten en la disposición de marcos de rejilla metálica (tipo 'tramex') de 10x10 cm de luz de malla, anclados en el pavimento o encajados en un marco (Figura 17.4). La rejilla debe cubrir toda la anchura de la vía, y la longitud recomendable es la misma que para los pasos canadienses con fosas, de entre 2 y 4 m. En cualquier caso, estos modelos deben contar también con la

instalación de una sección de malla electrosoldada rígida (de 30 x 5 cm) o de malla anudada de tipo cinegético, adyacente a los dos márgenes laterales del paso, y perpendicular al vallado perimetral, evitando dejar ningún espacio entre la malla y la rejilla metálica. Esta medida se está ensayando con éxito en carreteras de Suecia y también ha mostrado su efectividad para evitar el cruce de jabalí en Cataluña.

Placas electrificadas

- Cuando la vía de acceso está pavimentada, un dispositivo que permite contener la entrada de animales sin interferir en la circulación de vehículos son las placas electrificadas que se disponen transversalmente a la vía, integrándose en el aglomerado (Figura 17.7). Estas placas que pueden ser de distintos materiales, integran una malla metálica electrificada alimentada por paneles solares, o por corriente continua. Cuando un animal pisa la placa recibe una descarga eléctrica que le obliga a retroceder.
- Resultados de seguimientos llevados a cabo en Estados Unidos han mostrado su eficacia para ungulados. En España se está proyectando su uso para evitar el acceso de oso pardo a vías de alta capacidad. Es importante llevar a cabo un seguimiento de estos dispositivos para evaluar su eficacia (Figura 17.7).
- La instalación de placas electrificadas requiere la realización de un pequeño rebaje en el pavimento para encajar los paneles de la placa. Requiere mantenimiento periódico para verificar el correcto funcionamiento del suministro de energía. Además, si se instala en caminos de acceso a las carreteras que tienen sustrato natural o de zahorras, es necesario asegurar que estos materiales no son arrastrados por el agua u por otras causas, y recubran la placa. Si ello ocurre, aunque la cobertura sea parcial, la placa perdería totalmente su efectividad (Figura 17.11).



Figura 17.1 Esquema general de un paso canadiense que impiden el paso de ungulados, y al cual se ha añadido una rampa para facilitar la salida de animales que pudieran caer accidentalmente en su interior. Fuente: AT-Minuarta.



Figura 17.2. Paso canadiense instalado en una carretera de Suecia. Los paneles de malla instalados a ambos lados impiden que los animales puedan utilizar este espacio para acceder a la calzada. Foto: M. Elfstrom - EnviroPlanning.



Figura 17.3. Paso canadiense con aperturas laterales que permiten la salida de los pequeños animales que puedan caer en su interior y facilitan el mantenimiento. Foto: Ministerio de Fomento.



Figura 17.4. Los pasos de rejilla (tipo 'tramex') son una variante de paso canadiense que no requiere la construcción de fosa. Consisten en marcos de rejilla metálica que se disponen sobre la calzada, preferentemente encajados en un marco para permitir extracción y limpieza en caso de colmatado. Fotos: Marcus Elfstrom y Minuarta.

⚠ Indica que esta medida requiere seguimiento y evaluación de la efectividad, ya que existe evidencia limitada sobre sus resultados.



Figura 17.5. Sistema de rampa de salida para animales de pequeño tamaño cuando no es posible disponer de paredes laterales abiertas. Es preferible que la superficie de la rampa sea rugosa (derecha) para facilitar el desplazamiento de la fauna. Fotos: Minuartia.

Puertas



Figura 17.6. Refuerzos de malla electrosoldada adosados a puertas para evitar el acceso de fauna por debajo de las mismas. Fotos: Minuartia y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Placas electrificadas



Figura 17.7. Dos tipos de placas electrificadas para impedir el paso de cérvidos. En la derecha se observa la reacción de un cérvido al pisar la placa electrificada, consiguiendo que vuelva al exterior de la vía y evitando que cruce el resto del grupo. Fotos: C. Rosell y Colorado DOT, Colorado Parks and Wildlife & Wildlife Connectivity Institute.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 17.8. Los soportes transversales a las barras deben disponerse por debajo de éstas evitando así que queden superficies por las que puedan cruzar algunos animales. Foto: C. Rosell.



Figura 17.9. No deben quedar espacios que permitan el paso de los animales entre el cerramiento y el paso canadiense. Foto: C. Rosell ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 17.10. Las puertas no deben dejar huecos en la parte inferior que permitan a los animales acceder a la calzada. Foto: Cerema ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 17.11. Debe evitarse la instalación de los dispositivos en zonas en pendiente, ya que ello facilita que el sustrato de los caminos cubra las placas electrificadas o llene las zangas de los pasos canadienses, reduciendo así su efectividad. Foto: P. Kramer – Wildlife Connectivity Institute.

Especies y grupos de referencia

- Mamíferos de tamaño mediano y grande, fundamentalmente ungulados y carnívoros.

Características y prescripciones básicas

- Se trata de medidas destinadas a que las personas conductoras reduzcan la velocidad de circulación cuando discurren por tramos de vías con alta probabilidad de cruce de fauna silvestre. En general, son medidas aplicables a vías convencionales que no cuenten con cerramiento perimetral.
- Con el objetivo de identificar de manera precisa los tramos en los que esté justificada la señalización reforzada será necesario llevar a cabo un análisis de la localización, fechas y especies que han causado los siniestros. A partir de estos datos, habitualmente de un periodo de 5 años, se identificarán y caracterizarán los tramos de concentración de accidentes con animales, y ello permitirá seleccionar los casos en que sea adecuada la señalización reforzada (u otras medidas). Estos tramos se definen en base al número de accidentes con animales y su gravedad. Los criterios varían según la administración titular de las vías que los aplica, pero p. ej. en la Red de Carreteras del Estado se identifican tramos de 1 km como mínimo (aunque sería recomendable identificar también tramos de menor extensión) en los que se registren un mínimo de 10 incidentes con fauna de gran tamaño, y alguno de ellos haya ocasionado víctimas. Los tramos con mayor siniestralidad también pueden identificarse utilizando programas específicos que identifican los sectores de vía que superan un cierto umbral de riesgo de accidentes, determinado en base al número de siniestros registrados (p.ej.: método KDE+).



C. Rosell

Señalización de advertencia

- La instalación de la señalización de advertencia por cruce de fauna silvestre es aplicable en vías convencionales. En las de alta capacidad que cuentan con vallado perimetral no es aconsejable su instalación, ya que el refuerzo del vallado, combinado con pasos de fauna, garantizan mayor efectividad, y además de evitar accidentes, permiten restablecer la conectividad ecológica. Por otra parte, la finalidad de la señalización de advertencia es conseguir una reducción de la velocidad que evite la colisión con un animal, pero en vías con alta densidad de tráfico y elevada velocidad de circulación ello puede comportar riesgos de accidentes por alcance, de consecuencias aún más graves.
- La señal vertical normalizada que advierte de la probable irrupción de fauna silvestre en la calzada (P-24) es poco efectiva debido a su profusa utilización en numerosos tramos de carreteras. Por ello, en los tramos en los que se haya detectado un alto índice de accidentes causados por fauna silvestre se recomienda reforzar la señalización de advertencia, mediante la inclusión de luces destellantes en los vértices de la señal P-24 o su inclusión en un cartel con fondo retroreflectante (Figuras 18.1 y 18.2). Recientemente se ha aprobado la normalización de la señal P-24a, que advierte del riesgo

de irrupción de fauna silvestre en la calzada incluyendo la silueta del jabalí, especie implicada en una gran proporción de la siniestralidad. Cabe destacar que todas las señales deberán ajustarse a la normativa de señalización, y en particular a la norma 8.1-IC, señalización vertical, de la Instrucción de Carreteras y Reglamento General de Circulación y, cuando se utilicen elementos singulares, se requerirá la autorización previa de los organismos competentes.

- Las señales a colocar en los extremos de los tramos conflictivos deberán incorporar un panel complementario inferior (S-810) con indicación de la longitud de vía en la que se concentra el mayor riesgo de atropello de fauna silvestre (Figura 18.3). Para evitar la habituación de los conductores y, tratándose de refuerzos de señalización justificados solo en lugares muy concretos, no es conveniente que la advertencia se refiera a tramos demasiado largos, superiores a 1 km.
- La señalización reforzada se ha extendido en los últimos años, debido al aumento de la siniestralidad con fauna salvaje y ello puede conllevar, como en el caso de la señalización convencional, una habituación de las personas conductoras, con la consecuente reducción de su efectividad. Por ello esta medida debe reservarse para tramos particularmente conflictivos, estableciendo para su aplicación, umbrales de accidentes con animales.
- La habituación de las personas conductoras, con la consecuente falta de reacción a la misma, se ve reforzada cuando las señales se activan de manera permanente, durante todo el año, y con luces destellantes durante todo el día, cuando en realidad el alto riesgo de colisionar con fauna silvestre se concentra en horas y períodos muy concretos. Por ello, y para aumentar la efectividad es recomendable que la señalización esté operativa solo durante los períodos

críticos, que pueden variar según cuál sea la especie implicada en los siniestros (Figura 18.3). En el caso de accidentes causados por ungulados la señalización reforzada estará operativa desde principios de septiembre hasta finales de enero. Si se ven implicados corzos y gamos, también se señalizará el tramo en primavera. Durante el resto del año estos tramos dispondrán de la señal de advertencia estándar. También es aconsejable que las señales destellantes estén operativas sólo desde el atardecer hasta la madrugada, momentos de mayor frecuencia de accidentes, especialmente con jabalí.

- Otra alternativa es aplicar sistemas automatizados que permiten activar el refuerzo de la señalización temporal de advertencia por presencia de fauna silvestre adaptándolo a la probabilidad del riesgo. En este caso, además de definir los períodos de activación de la iluminación destellante se puede aplicar un código semafórico, con luz roja en los períodos de mayor riesgo. Los períodos de activación se basan en la estimación del riesgo de accidentes con fauna diferenciando por hora del día y mes del año, y también pueden adaptarse a aspectos locales como las condiciones meteorológicas o la actividad cinegética. El riesgo estimado activa o modifica los paneles de mensaje variable (Figura 18.4) reduciendo la habituación de los conductores. Los resultados del seguimiento llevado a cabo en Castilla y León con estas señales muestran una reducción significativa de los accidentes con animales.
- En casos extremos donde el riesgo de accidente con animales sea muy alto, puede considerarse la incorporación de la advertencia en los paneles de mensaje variable (Figura 18.5); no obstante son pocos los elementos de este tipo existentes en vías convencionales, y las de alta capacidad, donde se encuentran habitualmente, cuentan con cerramiento perimetral que,

si tiene las características y el mantenimiento adecuado, es el que garantiza que no se produzca la irrupción de animales en la plataforma.

Reducción de la velocidad de circulación

- La velocidad de circulación del vehículo influye notablemente tanto en el riesgo de colisión con animales que irruman en la calzada, como en la gravedad de los daños (Figura 18.8). La decisión de reducir la velocidad queda en todo caso a criterio de las personas que conducen, y en este apartado se indican distintos sistemas que pretenden motivar este cambio de comportamiento.
- En función de las características de la vía los gestores de tráfico deberán evaluar si es adecuado o no, **limitar o recomendar una velocidad de circulación inferior a 70 km/h** en los tramos de concentración de siniestros con animales. Aunque la velocidad de circulación es un factor que aumenta la probabilidad de colisión con animales, en algunos sectores la medida puede tener un efecto negativo en la fluidez del tráfico, y por ello no siempre será posible, o adecuada, su aplicación.
- La limitación de velocidad puede ser más efectiva si se disponen **radares de control de velocidad** en los tramos conflictivos. Estos pueden ser permanentes, o bien instalarse en los períodos de mayor riesgo, reforzando la comunicación a las personas conductoras sobre la instalación de estos controles.
- Una vez identificados los tramos de concentración de incidencias con fauna también es posible transmitir la **alerta a las personas que circulan por estos tramos a través de los dispositivos de navegación** de los vehículos, con la recomendación de reducir la velocidad ante el riesgo de que irrumpa un animal en la calzada.

Esta medida se está aplicando en diversos países de Europa (p.ej. en Suecia) y la Dirección General de Tráfico está proyectando su implantación en España.

- En tramos muy conflictivos situados en vías de baja o moderada intensidad de tráfico puede evaluarse la posibilidad de **incluir resaltes, secciones elevadas, u otros elementos** que fuercen la reducción de velocidad.
- La aplicación de **tratamientos ópticos en el pavimento para crear un efecto de estrechamiento de la calzada** también se ha demostrado que puede inducir a los conductores a reducir la velocidad. Algunos patrones que crean este efecto son las barras ópticas transversales, tanto en el centro de la calzada como en sus bordes, marcas en forma de espiga, círculos ópticos u otros (Figura 18.9).

Mantenimiento

- Las señales de advertencia normalizadas requieren un bajo mantenimiento, aunque debe asegurarse que se mantiene la vegetación a su alrededor de forma que permanezcan visibles para las personas conductoras.
- Las señales reforzadas requieren de comprobación y mantenimiento más frecuentes para la conservación de los equipos electrónicos y para proceder a su activación, si fuera el caso, en los períodos de mayor riesgo.
- En el caso de los tratamientos ópticos en el pavimento deben repintarse para mantenerlos bien visibles.



Figura 18.1. Señales P-24 reforzadas mediante la inclusión de luces destellantes en sus vértices (izquierda) y mediante la iluminación LED del triángulo rojo exterior (derecha). Fotos: Minuartia.



Figura 18.2. Mensaje de advertencia destacado mediante paneles con fondo amarillo retrorreflectante. Foto: Minuartia.



Figura 18.3. Señalización reforzada temporal que se encuentra operativa solo durante el periodo de mayor riesgo de accidentes causados por ungulados. Se indica también la distancia del tramo más conflictivo. Fotos: C. Rosell ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 18.4. Señales reforzadas con mensaje variable que advierte de riesgo alto (centro) y muy alto (derecha) en un tramo de 5 km. Si el nivel de riesgo no alcanza el umbral establecido no se muestra ningún mensaje (izquierda). Fotos: Consejería de Movilidad y Transformación Digital de la Junta de Castilla y León.



Figura 18.5. Panel de mensaje variable que advierte de la posible presencia de osos. Foto: L. Georgiadis.



Figura 18.6. Señales que pretenden conseguir una reducción de la velocidad de los vehículos alertando del peligro de atropello de especies concretas. Muchas de estas señales se aplican en espacios naturales, aunque no todas son normalizadas. Fotos: Parque Natural Aiguamolls de l'Empordà y Diputación Foral de Bizkaia.



Figura 18.7. Señal que incluye la silueta del jabalí (P-24a), a la derecha, normalizada por la Dirección General de Tráfico, que refleja la importancia de la especie en los accidentes con fauna salvaje, y señal normalizada en Castilla-La Mancha para advertir de zonas de cruce de lince, a la izquierda, con fondo fluorescente para mayor visibilidad por la noche. Fotos: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y Dirección General de Tráfico.

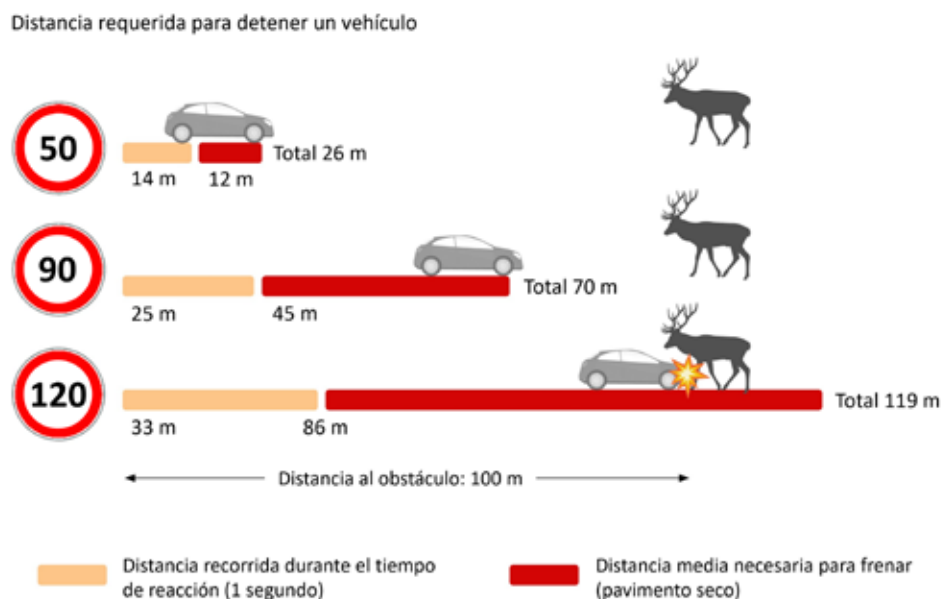


Figura 18.8. La velocidad de circulación del vehículo es un factor crucial que determina la probabilidad de colisión, así como la gravedad de los daños, dado que tiene influencia en la distancia de frenado y la fuerza del impacto. Fuente: adaptado de Associations Prévention Routière; Assurance Prévention; RACC ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').

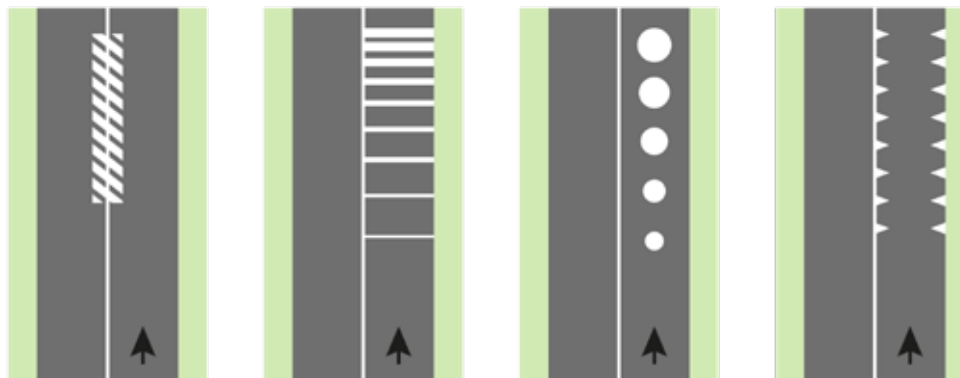


Figura 18.9. Distintos patrones y tamaños de tratamientos ópticos en el pavimento que pueden ser aplicados para crear un efecto visual de estrechamiento de la carretera que conlleve una reducción de la velocidad por parte de las personas conductoras. Fuente: adaptado de Hussain et al., 2021 ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').

Especies y grupos de referencia

- Mamíferos de tamaño mediano y grande, fundamentalmente ungulados y carnívoros.

Características y prescripciones básicas

- Se trata de señales de advertencia por presencia de fauna silvestre que sólo se activan cuando un animal se encuentra en las proximidades de la calzada. Su efectividad se basa en que no advierten de un riesgo potencial sino de un peligro real, reduciendo así, la habituación de las personas conductoras. Para aumentar su efectividad se les informará del significado de la señal mediante paneles informativos situados en los extremos del tramo conflictivo.
- Esta medida es aplicable en vías convencionales sin vallado perimetral, siendo particularmente adecuada para carreteras rurales, con baja intensidad de tránsito, en las cuales se concentra una alta siniestralidad por colisiones con fauna silvestre. Se trata, por tanto, de una alternativa a los pasos de fauna y vallados perimetrales para carreteras en las que no sea adecuada la instalación de cerramiento.
- Además, su uso debe reservarse para vías con una velocidad máxima de 70-80 km/h que permita a los conductores reducir la velocidad de forma efectiva cuando el sistema está activado.
- Existen distintas variaciones de estos sistemas, pero todos ellos se basan en la existencia de un sensor que detecta la presencia de un animal (los denominados *Animal Detection System* o ADS) y activa el sistema. Todos los dispositivos implican componentes electrónicos interconectados que requieren conectividad y un



Junta de Castilla y León

mantenimiento frecuente y adecuado, también con desbroces para garantizar la detectabilidad del animal.

- Los sensores para la detección de fauna pueden ser de distintos tipos: térmicos, de movimiento, de fibra óptica o radares. Debe seleccionarse el tipo más adecuado teniendo en cuenta las características de la vía y su entorno y, en particular, las especies objetivo. En cualquier caso, deben garantizar la detección de todos los animales de las especies de referencia que se acerquen a la vía, dado que la ausencia de activación garantiza al conductor que no hay riesgo de irrupción de fauna. Una correcta ubicación e instalación de los sensores es un aspecto clave para la efectividad de estos sistemas.
- Con el objetivo de identificar de manera precisa los tramos de concentración de accidentes con animales para los que pueda ser adecuada la aplicación de esta medida, será necesario llevar a cabo un análisis de la localización, fechas y especies que han causado los siniestros. A partir de estos análisis se identificarán y caracterizarán los tramos de actuación que permitirán definir la medida de mitigación más adecuada en función de las condiciones locales. Esta evaluación se realizará con una periodicidad mínima de 5 años.
- Los seguimientos disponibles, correspondientes a periodos inferiores a 1 año,

aportan datos de una reducción del 50 al 70% del número de accidentes registrados, si bien, la efectividad puede reducirse con el paso del tiempo (por habituación de los conductores, y de los animales, si disponen también de dispositivos disuasorios). Por ello es imprescindible que esta medida vaya acompañada de seguimientos que garanticen su efectividad.

Componentes

- La cantidad y tipo de componentes varía en función del sistema. En general todos incluyen detectores de fauna y señalización de advertencia a conductores, algunos incluyen además dispositivos disuasorios sincronizados con los detectores y señales mediante una unidad de control.

Detectores de fauna

- Son los elementos clave de estos sistemas y deben garantizar la detección de todos los animales de tamaño mediano y grande que se acerquen a la vía.
- Las **cámaras térmicas o de infrarrojos** tienen un área de detección de unos 150 m, o más, permitiendo abarcar un área extensa. Requieren que no haya elementos que obstaculicen la detección, y por ello no son adecuadas para instalarlas en áreas con cobertura arbórea o arbustiva densa. Suelen alimentarse mediante una batería interna que puede recargarse con paneles solares. Se están llevando a cabo también ensayos con cámaras convencionales de videovigilancia con un rango de detección de hasta 250 m, equipadas con sistemas de identificación de inteligencia artificial que, al detectar la irrupción de animales en la calzada o sus proximidades, activan dispositivos de advertencia a las personas conductoras.
- Las **cámaras con detección de fauna asistida por IA**, que colocadas en postes de unos 8 m de altura permiten detectar a

los animales de gran tamaño a unos 100 m. Estos dispositivos pueden enviar la información a centros de control de vías, y además, activar balizas o señales de advertencia a las personas conductoras.

- Los **sensores de movimiento** (los más comunes, de infrarrojo pasivo) tienen un área de detección más limitada, en torno a los 15 m. Por ello, sólo son recomendables en puntos donde el acceso de los animales a la vía se produzca por sendas muy concretas. Suelen incluir una batería que necesita ser cambiada regularmente.
- Los **sensores de fibra óptica** consisten en cables enterrados en zanjas de 50 x 50 cm en los márgenes de las carreteras y se activan con las vibraciones generadas por las pisadas de los animales. Estos cables se encuentran conectados a un sistema centralizado que permite discriminar entre animales, u otros elementos, así como localizar de forma precisa el punto por donde ha irrumpido un animal. El rango de detección depende del animal, y se sitúa entre 0,5 y 10 m.
- Existen otros sistemas de detección de fauna, como los **sensores piezométricos** o los **radares**, si bien las cámaras térmicas y los sensores de movimiento son los más comúnmente utilizados.
- Un caso especial son aquellos sistemas que se activan mediante señales de muy alta frecuencia (*Very High Frequency* o VHF) que emiten los **collares de animales radiomarcados**. La distancia de detección de estos dispositivos puede alcanzar grandes distancias, y varía en función de la topografía, y puede aplicarse a especies de pequeño tamaño. No obstante, sólo se activan cuando se aproximan los individuos radio marcados.

Señales de advertencia a personas conductoras

Las señales de advertencia deben instalarse en ambos extremos del tramo conflictivo de

forma que sean visibles para las personas que conducen con tiempo suficiente para reaccionar, y reducir su velocidad en caso de peligro por presencia de fauna.

- Puede tratarse de señales destellantes o paneles con mensajes variables acompañando a la señal normalizada (P-24). Ambos sistemas pueden alimentarse mediante la instalación de paneles solares en la parte superior del soporte y deben activarse solamente cuando los sensores de fauna hayan detectado un animal.
- Otras variaciones incluyen balizas aeroportuarias adaptadas con iluminación led bidireccional instaladas a ambos lados de la vía que cambian de color cuando se detecta un animal en la vía o en sus proximidades.

Posibles variaciones a la propuesta base

Incorporación de radares de control de velocidad

- En las señales pueden instalarse radares para registrar la velocidad de los vehículos al aproximarse. Esto permite detectar si los conductores reducen la velocidad cuando el sistema está activado. En caso contrario pueden mostrarse mensajes diferentes en las señales, o activarse dispositivos disuasorios para ahuyentar a la fauna. Estos datos son útiles, además, para verificar si el sistema consigue que se reduzca la velocidad de circulación de los vehículos.

Unidad de control

- Los sistemas más complejos disponen de una unidad de control que es el núcleo del sistema y permite la interconexión de los distintos elementos. Incluye un microprocesador para recibir y enviar información entre los distintos componentes y se alimenta mediante una batería y un panel solar que puede instalarse sobre la misma unidad.

- Debe situarse en una posición central del tramo conflictivo, para facilitar la conectividad con los sensores de detección de fauna y las señales de advertencia reforzadas. Para ello, es recomendable que exista una línea visual entre los distintos elementos y la unidad de control. Si no fuese posible o si es necesario extender la distancia entre elementos, pueden instalarse repetidores que garanticen la conectividad entre ellos.

Dispositivos disuasorios sonoros

- Incorporan a las señales emisores de sonidos que tienen como objetivo ahuyentar a los animales cuando se detecte la aproximación de un vehículo. Su utilización debe valorarse particularmente para cada caso, ya que pueden existir restricciones de ruido debido a la cercanía a zonas residenciales o áreas protegidas.
- Los sonidos disuasivos que se han revelado más efectivos son los que tienen 'sentido biológico', es decir, aquellos que las especies objetivo puedan identificar con un peligro real y conocido como, por ejemplo, gritos de personas, de perros ladrando o de algún predador. Se ha demostrado que otros tipos de sonidos, o ultrasonidos, tienen menor efectividad a largo plazo, y los animales se habitúan más rápido.
- Existen dispositivos que se activan siempre que un vehículo se adentra en el tramo conflictivo mientras que otros establecen un umbral de velocidad. Estos son más recomendables, ya que limitan la exposición de los animales a los sonidos disuasorios, a situaciones muy específicas de peligro, reduciendo por tanto su habituación.

Programas y aplicaciones de control

- Algunos sistemas disponen de programas y aplicaciones específicas que permiten su configuración desde un dispositivo móvil, comprobar que todos los elementos se encuentran operativos o visualizar los videos captados por las cámaras térmicas.

- Estos programas permiten recopilar numerosa información permitiendo un análisis detallado de su funcionamiento, así como de su efectividad. Por ejemplo, pueden contabilizarse cuántos animales han cruzado la carretera sin peligro (sensor de fauna activado, pero vehículo no registrado), cuántas situaciones de riesgo se han producido (sensor de fauna y vehículo a alta velocidad detectados en el mismo evento) o cuántos vehículos han reducido la velocidad por debajo del umbral considerado seguro.

Instalación

- La instalación de estos sistemas es un proceso complejo que requiere un profundo conocimiento del tramo en cuestión, de la ecología de la especie objetivo y del funcionamiento de los distintos componentes.
- Debe asegurarse una buena conectividad entre los distintos elementos del sistema, llevando a cabo desbroces de vegetación o podas de árboles si es necesario. Este punto es imprescindible para asegurar la efectividad del sistema, evitando falsos positivos (señal activada por vegetación, sin animal presente) y negativos (animales no detectados o señales inactivas) en la detección de fauna.
- Debe definirse el tiempo que la señal de advertencia reforzada permanece encendida desde que un animal es detectado; así como el lapso de inactivación después de una activación. Estos parámetros varían dependiendo de las especies objetivo y de las características del tramo y deben ajustarse para cada situación.
- Es necesario disponer de suficientes horas de luz que permitan la carga de las baterías que alimentan el sistema, así como cobertura 4G que permita la conexión entre los elementos del sistema.

Señalización de pasos de fauna a nivel

- La señalización activada por sensores de fauna también se aplica a los denominados 'pasos de fauna a nivel' en los que el cruce de fauna se produce por la propia calzada (Figura 19.2). Esta medida cuenta todavía con reducida evidencia sobre su efectividad y es aplicable solo a carreteras con intensidad de tránsito muy baja. Consiste en la instalación de cerramiento perimetral a lo largo de toda la extensión del tramo de alto riesgo de siniestros con fauna, disponiendo de un sector sin vallado que concentra el cruce de animales y que cuenta con sensores que detectan su aproximación y activan la señalización de advertencia que alerta a las personas conductoras para conseguir que reduzcan la velocidad y circulen con precaución.
- Se recomienda que el tramo sin vallado tenga una longitud de unos 30 m y debe localizarse estratégicamente en el sector con mayor probabilidad de concentrar paso de fauna, y a la vez, con mayor visibilidad para los conductores. También se aplican aperturas de mayor extensión, que podrían comportar mayor riesgo de que los animales se muevan a lo largo de la carretera, por el interior del área vallada, aunque la evidencia empírica para prescribir la longitud más adecuada es todavía limitada.
- Los pasos de fauna a nivel requieren que los cruces de fauna se produzcan con baja frecuencia, y su implementación está limitada por la intensidad de tráfico y la velocidad de circulación. Hasta el momento, sólo se ha mostrado su efectividad en carreteras de países escandinavos con una intensidad media de unos 6.000 vehículos/día. También requieren que la velocidad de circulación se limite a unos 50 km/h, y en ningún caso supere los 80 km/h.

- En los cuatro extremos de los cerramientos, a ambos lados de la carretera, se recomienda instalar secciones de valla perpendiculares a la vía para crear un corredor que conduzca el avance de los animales a través de la zona de detección de los sensores. La longitud de estos corredores debe adaptarse en función del contexto local, abarcando la totalidad del dominio público cuando sea posible.
- Es imprescindible que los sensores de fauna cubran toda el área de aproximación a la vía para asegurar que todos los animales son detectados y que la señalización de advertencia se activa en cada situación de riesgo.
- Las señales de advertencia deben situarse a una distancia de la zona de cruce suficiente para permitir que los vehículos reduzcan su velocidad o se detengan si las señales se activan. Esta distancia depende de las características de cada vía, si bien, para la velocidad máxima recomendada (50 km/h), debería ser de unos 50 m.
- Para reducir el riesgo de que los animales en lugar de cruzar la calzada caminen a lo largo de la carretera por el interior del área vallada, la mejor solución es la instalación de placas electrificadas transversales a la carretera y cubriendo la totalidad de la calzada y sus márgenes. Otras opciones aplicadas en carreteras suecas son la instalación en ambos márgenes, de elementos que dificulten el avance de animales, como piedras trituradas o alfombrillas de conos de goma. Además, la calzada se señala con marcas viales transversales de color claro para dirigir visualmente a los animales hacia el otro lado de la carretera, y ayudar a los conductores a identificar el tramo de cruce.
- A diferencia de las estructuras de pasos de fauna (Fichas 1 a 11), en este caso el cruce de fauna se realiza por la calzada por la que circulan los vehículos; es por ello que esta medida no garantiza la misma efectividad que las estructuras de paso de fauna.

- Esta medida solo es recomendable en tramos de carreteras en los cuales no sea posible instalar vallados que conduzcan a los animales a estructuras transversales de uso específico para la fauna, o multifuncionales (drenajes u otros). Estas estructuras son de mayor efectividad, plenamente contrastada, y además su mantenimiento es considerablemente menor que el que requieren estos pasos a nivel, que, además, pueden inhabilitarse por robos o actos vandálicos.

Otros dispositivos de alerta al vehículo activados por fauna

- El desarrollo de infraestructuras y vehículos inteligentes y su interconexión ha permitido el desarrollo de tecnologías para mejorar la seguridad vial. Algunas de ellas tienen aplicaciones que pueden reducir los accidentes con fauna.
- Diversos fabricantes de vehículos han desarrollado sensores que permiten la detección de animales en las proximidades alertando a los conductores mediante mensajes en el navegador, o, incluso, activando el sistema de frenado del vehículo.
- Se están desarrollando 'autopistas inteligentes' que, mediante sus cámaras de seguridad, permiten detectar objetos en la vía (incluyendo animales) y emitir señales de alerta que activan paneles de mensaje variable. Estas alertas se emiten también a los navegadores de los propios vehículos previniéndoles del riesgo de accidentes.

Mantenimiento

- Todos los elementos del sistema requieren mantenimiento y controles periódicos frecuentes. Si bien se pueden realizar inspecciones remotas gracias a las aplicaciones de control del sistema, es necesario llevar a cabo inspecciones presenciales periódicamente.

- La vegetación debe mantenerse de forma que no interfieran con la carga de los paneles solares, con la conexión entre los distintos elementos del sistema y la unidad de control o con la detección de fauna.
- En el caso de los 'pasos a nivel', además, es imprescindible la inspección periódica del cerramiento para detectar y resolver posibles deficiencias.

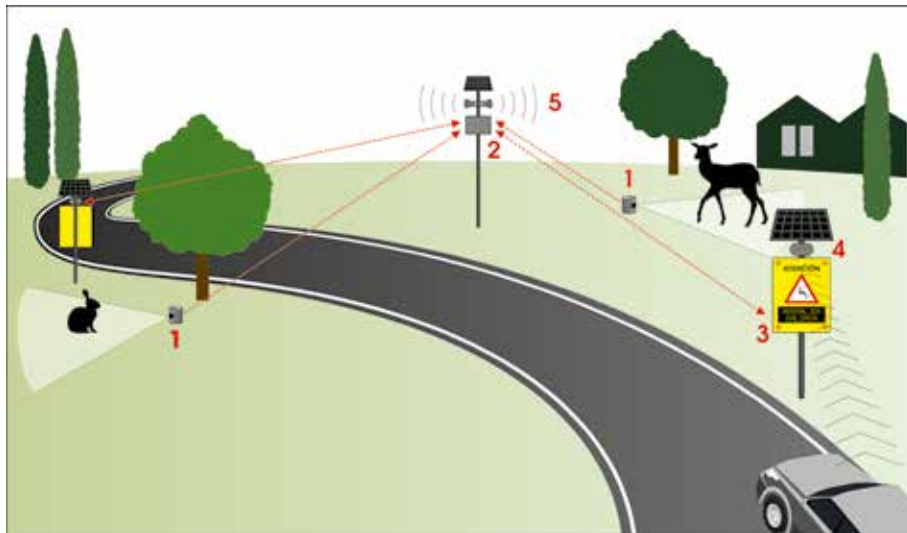


Figura 19.1. Diagrama ilustrativo de los componentes de un sistema de señales activadas mediante sensores de detección de fauna incluyendo radares y dispositivos disuasorios: 1) Sensores de movimiento o cámaras térmicas; 2) Unidad de control; 3) Señal de advertencia reforzada con paneles de mensaje variable; 4) Radar; 5) Dispositivos disuasorios sonoros. Fuente: Proyecto LIFE Safe-Crossing.

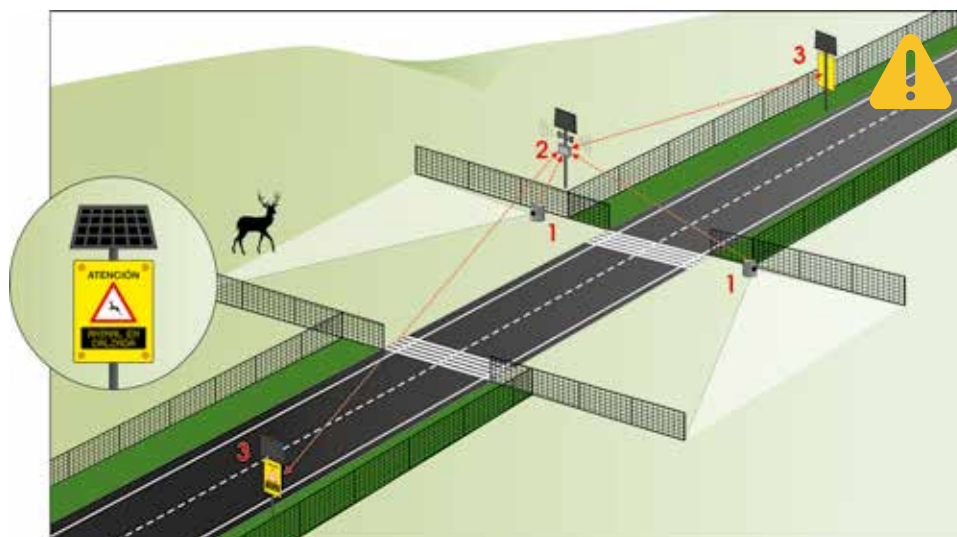


Figura 19.2 Esquema de la instalación de señales activadas mediante detectores de fauna en un paso de fauna a nivel: 1) Sensores de movimiento o cámaras térmicas; 2) Unidad de control; 3) Señal de advertencia reforzada con paneles de mensaje variable. Fuente: 'IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook'.

⚠ Indica que requieren seguimiento y evaluación de la efectividad, ya que existe evidencia limitada sobre sus resultados.



Figura 19.3 Sensor de movimiento de infrarrojo pasivo y cámara térmica instalados en las inmediaciones de las vías para detectar la aproximación de los animales y activar las señales de advertencia a las personas conductoras. Fotos: Minuartia.



Figura 19.4. Paso de fauna a nivel. El vallado perimetral cuenta con una apertura equipada con sensores de fauna que activan las señales de advertencia. El desbroce de los márgenes contribuye a mejorar la visibilidad y evitar la activación de los sensores a causa de la vegetación y la señalización horizontal pretende crear un efecto de estrechamiento que contribuya a fomentar la reducción de velocidad. Fotos: Consejería de Movilidad y Transformación Digital de la Junta de Castilla y León.

⚠ Indica que requieren seguimiento y evaluación de la efectividad, ya que existe evidencia limitada sobre sus resultados a medio (5 años) y largo plazo.



Figura 19.5. Señal activada por detectores de fauna en un paso de fauna a nivel. Foto: M. Oñorbe.

Especies y grupos de referencia

- Mamíferos de tamaño mediano y grande, fundamentalmente ungulados y carnívoros.

Características y prescripciones básicas

- Se trata de dispositivos que emiten estímulos de luz y sonido, que pretenden ahuyentar (o alertar) a los animales cuando se aproximan a una vía, evitando que se produzca su cruce cuando circulan vehículos.
- Se describen tres tipos de dispositivos disuasorios: i) los activados por sensores de fauna; ii) los activados por las luces de los vehículos; y iii) los reflectores (cuya falta de efectividad ha sido establecida en distintas evaluaciones). Todos ellos son aplicables sólo en vías de baja intensidad de tránsito y en los que la velocidad de circulación de los vehículos no exceda los 70-80 km/h.
- En todos los casos, se requieren estudios que contrasten su efectividad a medio y largo plazo. Por tanto, si se opta por la prueba de estos disuasorios es recomendable acompañarlos de un seguimiento con un correcto diseño experimental que incluya como mínimo comparación del número de accidentes antes y después de la instalación de los dispositivos, así como comparaciones entre el tramo en el que se instalan los dispositivos y otros con problemática similar en los que no se han instalado. Ello es necesario porque algunos ungulados, como el jabalí, presentan grandes fluctuaciones demográficas, que también afectan las variaciones a la siniestralidad en carreteras. Cuando sea posible es recomendable ampliar el monitoreo con dispositivos que permitan registrar imágenes para analizar el comportamiento de los animales y su reacción ante los dispositivos.



M. Oñorbe

Balizas activadas por sensores de fauna

- Se trata de balizas que cuentan con sensores de detección de fauna y con emisores de luces, ultrasonidos y sonidos, cuyo objetivo es ahuyentar (o como mínimo alertar) a la fauna cuando se acerca a una carretera, independientemente de si circulan, o no, vehículos (Figura 20.1).
- Los detectores de fauna de estas balizas tienen una distancia de detección de entre 13 y 17 m y un ángulo de 160° (según información de los proveedores).
- Los dispositivos deben situarse en los tramos conflictivos de las vías, en ambos márgenes y a una distancia entre ellos de 20 m.
- La activación mediante sensor de fauna permite que las balizas funcionen en cualquier momento del día, cuando el animal se aproxima a la carretera, independientemente de si circulan vehículos.
- En zonas con alta frecuencia de cruce de animales, los estímulos visuales y sonoros se activan con mayor frecuencia, y sin que se vean asociados a ningún riesgo real (paso de un vehículo). Por ello, es de esperar una habituación de los animales más rápida que con los dispositivos que sólo se activan en situaciones de riesgo, cuando se detectan al mismo tiempo el animal y un vehículo a alta velocidad (véase Ficha 19).

- En espacios naturales protegidos y con ecosistemas sensibles, debe considerarse el efecto de las perturbaciones de las alertas acústicas y sonoras emitidas por las balizas. Además, si estos estímulos consiguen ahuyentar a los animales, cabe considerar el refuerzo del efecto barrera de la vía, dificultando el cruce, aunque no estén circulando vehículos.
- Seguimientos facilitados por los proveedores indican una reducción de entre el 40 y el 60% del número de accidentes, comparando el período anterior a la instalación de los dispositivos, con unos meses después de la instalación.
- Sólo son aplicables en carreteras locales con una intensidad de tráfico media o baja ya que, de lo contrario, permanecen activados de forma continua.
- Dado que sólo se activan con el paso de vehículos, la fauna puede cruzar sin perturbaciones cuando no hay tráfico en la vía.
- Al exponer a los animales a los estímulos disuasorios sólo cuando circulan vehículos con los faros encendidos, puede reducir la habituación de los animales a los mismos, especialmente si las vías cuentan con baja intensidad de tráfico.
- Los seguimientos sobre la efectividad de esta medida muestran resultados contradictorios. Algunos estudios han reportado una reducción de la accidentalidad, mientras que otros aseguran que no son efectivos. Los puntos más cuestionados incluyen la contrastada ineffectividad a largo plazo de los ultrasonidos debido a la habituación de los animales y el limitado alcance de ambos estímulos (comparado con la luz y el ruido producido por los propios vehículos).

Balizas activadas por luces de vehículos

- Se trata de dispositivos que emiten luces LED, de distintos colores, y ultrasonidos para ahuyentar a la fauna cuando se aproxima un vehículo. También son popularmente conocidos como 'barrera virtual' (Figura 20.2). Se activan mediante la luz de los vehículos. Este método de activación limita su funcionamiento al periodo nocturno.
- Una alternativa a este diseño son los sistemas que incluyen ambos sistemas de activación. Éstos cuentan con balizas de control, activadas con el paso de los vehículos y situadas en los extremos del tramo conflictivo, que activan los sensores de detección de fauna de las balizas disuasorias. Cuando se detecta un animal, estas balizas emiten ultrasonidos y luces, se activan las balizas contiguas y se envía una señal a las balizas de control, activando la señalización variable.
- Las unidades de emisión de sonidos se instalan fijados en postes, en el borde de las carreteras, en ambos lados de la misma y a una distancia máxima entre ellas de 50 m, disponiéndolos al tresbolillo.

Reflectores

- Los reflectores son elementos fabricados con materiales reflectantes instalados sobre postes o incluso sobre los hitos de arista, que reflejan la luz de los faros de los vehículos proyectándola hacia los hábitats del entorno de la vía. Con ello se pretende alertar a los animales que se desplazan por estos ambientes y evitar que se acerquen a la carretera (Figura 20.3).
- Esta medida solo se activa en los períodos crepusculares y nocturnos, cuando la luz de los vehículos que circulan con los faros encendidos impacta en los reflectores.
- Numerosos seguimientos llevados a cabo en distintos países, y diversos artículos en revistas científicas ponen en evidencia que

los animales se acostumbran y pierden su efectividad con rapidez, por lo cual no se recomienda su uso.

Otros dispositivos disuasorios

- **Estímulos sonoros emitidos por marcas en el pavimento.** Las guías sonoras se usan fundamentalmente para alertar a los conductores con el objetivo de evitar salidas de la vía o invasiones del carril contrario. Sin embargo, se han propuesto y ensayado para mitigar los atropellos de fauna considerando que el ruido que producen podría ahuyentar a los animales, sin resultados concluyentes.
- **Estímulos sonoros emitidos por vehículos.** Existen otros dispositivos que se instalan en los vehículos y emiten sonidos o ultrasonidos a medida que el vehículo avanza. Estos dispositivos, dirigidos fundamentalmente a los ungulados, se han demostrado ineficaces por lo que no se recomienda su uso.

Mantenimiento

- Todos los sistemas requieren labores de mantenimiento, con limpiezas y chequeos periódicos para verificar que todas las unidades mantienen un correcto funcionamiento.
- Cuando se instalan balizas o postes debe adaptarse la siega de márgenes para evitar deteriorar o cubrir los emisores de luces y sonido con restos de vegetación. En aquellos dispositivos que se activan mediante las luces de los vehículos, además, debe asegurarse que los receptores se mantienen limpios y libres de obstáculos.



Figura 20.1. Distintos modelos de balizas disuasorias activadas por sensores de fauna que emiten luces y sonidos cuando se aproxima un animal. Algunos modelos cuentan con sensores de vehículos al inicio del tramo por lo cual solo se activan cuando hay tráfico. Fotos: M. Oñorbe y F. Pérez.

⚠ Indica que requieren seguimiento y evaluación de la efectividad, ya que existe evidencia limitada sobre sus resultados a medio (5 años) y largo plazo.



Figura 20.2. Dispositivos disuasorios instalados sobre hitos de arista y activados mediante los faros de los vehículos (también denominados 'barrera virtual'). En este caso no cuentan con detectores de fauna y sólo son operativos en período nocturno o crepuscular. Fotos: Minuartia.

⚠ Indica que requieren seguimiento y evaluación de la efectividad, ya que existe evidencia limitada sobre sus resultados a medio (5 años) y largo plazo.

Malas prácticas y errores más frecuentes

Figura 20.3. No se aconseja la instalación de reflectores (de distintos tipos) que refractan la luz de los faros de los vehículos proyectándola hacia el entorno de la vía, ya que distintos seguimientos han mostrado su reducida efectividad por la rápida habituación de los animales. Fotos: C. Rosell.

Especies y grupos de referencia

- Ungulados.

Características y prescripciones básicas

- Se trata de sustancias químicas que pretenden ahuyentar (o alertar) a los animales que se acerquen a una vía, facilitando su detección por parte de los vehículos que se aproximen.
- Los seguimientos realizados han mostrado que, si bien pueden presentar cierta efectividad a corto plazo, esta se pierde con el paso del tiempo debido a la habituación de los animales.
- Por ello estas medidas solo son aplicables, en el mejor de los casos, con carácter temporal, mientras se definen otras soluciones cuya efectividad se pueda garantizar a largo plazo.
- Estos sistemas, denominados popularmente 'barreras de olor', consisten en la aplicación de sustancias que desprenden distintos olores simulando el de humanos, de depredadores de ungulados, u otros. Existen numerosos productos comerciales que varían en su composición y fórmula de aplicación.
- Pueden aplicarse mediante la colocación de resinas sintéticas impregnadas situadas en estacas a ambos lados de la vía, en recipientes con la sustancia dispuestos a distancias regulares en elementos de la vía (biondas) o mediante pulverización (manual o desde vehículos) a lo largo de los arcenes. Con ello se pretende causar alerta en los animales que se acercan a los márgenes de las calzadas, y facilitar, así, la detección de los vehículos que se aproximen.
- Las estacas con resina pueden disponerse en hilera, y con una separación de unos 5 m entre ellas, o sobre la vegetación existente en los márgenes de la carretera. Son necesarias dos hileras de resina impregnada de olor, una de ellas situada lo más cerca po-



F. Navàs

- sible del borde de la carretera y la segunda en paralelo a 10 m de distancia de la misma.
- Esta medida tiene un alto coste de mantenimiento, ya que el producto debe reponerse manualmente cada tres o cuatro meses o con mayor frecuencia, en función de las condiciones meteorológicas. Además, en el caso de las estacas, éstas pueden sufrir desperfectos durante las labores de siega de márgenes o por otras causas. La conservación de estas estacas con frecuencia entra en conflicto con las labores de siega de los márgenes o con los trabajos agrícolas, si la segunda hilera se coloca en el interior de campos de cultivo adyacentes a las vías.
- Las experiencias de seguimiento realizadas indican una reducción de entre el 20 y el 40% del número de accidentes. Sin embargo, se ha constatado que con el paso del tiempo los animales se habitúan a estas sustancias, con lo que después de varias aplicaciones, el sistema pierde efectividad
- No obstante, se puede considerar la aplicación de esta medida temporalmente, en tramos cortos de carretera especialmente conflictivos y aplicando el repelente solo en los períodos críticos para evitar que los animales se habitúen a él.
- Son necesarios monitoreos de mayor duración que permitan determinar la efectividad de estos disuasorios y la habituación de los animales a largo plazo.



Figura 21.1. Estaca con resina sintética impregnada de un concentrado de olor y disposición de las dos hileras de estacas en el margen de la carretera. La conservación de estos elementos plantea conflictos con las tareas de siega de márgenes o con las labores agrícolas, y la efectividad de esta medida es temporal. Fotos: F. Navàs.

⚠ Los seguimientos de efectividad establecen que la efectividad de esta medida es solo temporal.



Figura 21.2. Botella con disuasorio olfativo instalada en una discontinuidad del vallado en una autovía. La efectividad de esta medida es solo temporal, y varía según cual sea el producto aplicado. Foto: Minuartia.

⚠ Los seguimientos de efectividad establecen que la efectividad de esta medida es solo temporal.

Especies y grupos de referencia

- Mamíferos de distintos grupos y aves principalmente.

Características y prescripciones básicas

- Las actuaciones a aplicar en gestión de márgenes y medianas pueden ser muy diversas en función de cuál sea la fauna de referencia, de las características de la infraestructura y del paisaje del entorno, por lo cual se requiere criterio experto para concretar el diseño de las actuaciones. No obstante, la gestión de estas zonas debe priorizar siempre la reducción del riesgo de atropellos de fauna y de siniestralidad causada por irrupción de animales en las vías. Pueden aplicarse actuaciones complementarias que promueven beneficios adicionales para la biodiversidad (véanse Fichas 26 y 27).
- Los márgenes y medianas de las infraestructuras pueden convertirse en un hábitat atractivo para aves y pequeños mamíferos (como roedores y conejos), y su presencia en las proximidades de las plataformas de circulación de vehículos, puede comportar un aumento de su riesgo de mortalidad por atropello. Además, éste también se verá aumentado para los animales carroñeros, que acuden a consumir cadáveres, y para los depredadores, que convierten los márgenes de las vías en territorios de caza. Así se ha constatado para el caso de diversas especies amenazadas de rapaces y carnívoros (como el turón o el lince ibérico). Por ello, es necesario prestar una particular atención a la gestión de márgenes y medianas evitando la creación de refugios o la plantación de vegetación que facilite alimento a los animales, en particular en los márgenes de vías con alta intensidad de tráfico.



R. Campeny

- Para reducir el riesgo de accidentes causados por mamíferos de gran tamaño, como cérvidos o jabalíes, es aconsejable disponer de una franja con buena visibilidad que facilite al conductor la percepción de la presencia de animales en los márgenes permitiéndole eludir la colisión; por su parte, el animal puede advertir la aproximación de un vehículo y reaccionar evitando el intento de cruce.
- En general – y salvo que estudios de detalle aconsejen otras medidas – para vías y ferrocarriles sin cerramiento se recomienda la realización de desbroces y siegas en una franja de como mínimo 3 m, a partir de la arista exterior de la plataforma. La tala de árboles puede ser también necesaria, particularmente, en áreas de distribución de carnívoros que trepen con facilidad a los árboles, aunque con frecuencia será suficiente con la realización de desbroces del estrato arbustivo. Esta actuación será indispensable en tramos en los que se detecte una alta incidencia de mortalidad por atropello de determinadas especies y en vías que atraviesen áreas de distribución de especies en peligro de extinción.
- En vías con cerramiento perimetral, es recomendable que se mantengan pasillos sin vegetación arbustiva ni arbórea adyacentes a los vallados para evitar que algunas especies (entre ellas algunas amenazadas,

como el lince ibérico), puedan trepar y saltar el cerramiento ayudadas por la vegetación. Además, esta actuación facilitará la inspección y conservación de los vallados.

- Las actuaciones se programarán en función de cuáles sean las especies objetivo, y pueden coincidir con las ya previstas en el mantenimiento rutinario de la vía. En el caso de que se trate de un tramo de concentración de accidentes causados por ungulados, las actuaciones se llevarán a cabo al comienzo de los períodos con mayor riesgo de colisiones: septiembre-octubre en el caso del jabalí y algunos cérvidos, y en abril en el caso del corzo. Dada la temporalidad del fenómeno, en estos casos es adecuado combinar la medida con señalización temporal reforzada (véase Ficha 18) u otros tipos de señalización (véase Ficha 19), durante los meses con mayor riesgo de siniestros.
- Cuando esta medida se aplique en espacios naturales, o en zonas en las que existan comunidades o especies vegetales de alto interés, se requerirá el asesoramiento de expertos para valorar cómo llevar a cabo los desbroces o las siegas para no causar afecciones a la vegetación de interés.
- La proliferación de conejos en taludes y medianas, atrae a predadores, y puede causar graves riesgos de estabilidad en la infraestructura a causa de la extensión de sus huras o madrigueras (Figura 22.5). En estos casos es aconsejable instalar cerramientos con refuerzos adecuados para evitar la entrada de estas especies (véase Ficha 15) y diseñar hábitats poco atractivos en los márgenes. En caso de requerirse control poblacional, se desaconseja el uso de tóxicos (como el fosfuro de aluminio) que puedan causar daños a otras especies que habitan en estos hábitats, o incluso afectar a los ecosistemas del entorno de las vías. Se priorizará para la captura el uso de trampas, huroneo u otros sistemas.
- Para reducir la mortalidad de aves o murciélagos por colisión con tráfico es posible recurrir a plantaciones en las partes superiores de los desmontes o de los taludes que fuercen a los animales a elevar su altura de vuelo (véase Ficha 26), aunque hay que seleccionar bien las especies, así como la localización de estas franjas revegetadas para que no atraigan a los animales a zonas de riesgo. También es posible recurrir a pantallas para conseguir el efecto de elevación del vuelo (véase Ficha 23).



Figura 22.1. Desbroces para facilitar la visibilidad a los conductores y reducir los refugios para los animales en un tramo de carretera con alta concentración de accidentes causados por jabalíes y cérvidos. Foto: C. Rosell.



Figura 22.2. Mediana de separación de carriles sin vegetación que puede ser adecuada en tramos en los que la proliferación de topillos u otras presas, podrían atraer a rapaces o carnívoros comportando un aumento del riesgo de atropellos. Foto: C. Rosell.



Figura 22.3. Márgenes desbrozados para reducir los refugios para animales en la zona adyacente a la calzada. Foto: F. Navàs.



Figura 22.4. Los desbroces de los márgenes de las vías facilitan también la inspección del cerramiento perimetral y reducen el riesgo de propagación de incendios. Foto: M. Oñorbe.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 22.5. Proliferación de madrigueras de conejos en los márgenes de una vía. La aplicación de medidas para evitar que los conejos se establezcan en los terraplenes contribuye a reducir la atracción de lince ibérico y otros carnívoros con la consecuente reducción del riesgo de atropello. Foto: Junta de Castilla-La Mancha.

Especies y grupos de referencia

- Aves.

Características y prescripciones básicas

- La creciente red de transporte supone una amenaza para las poblaciones de aves por la pérdida de hábitats y la mortalidad directa. Los ferrocarriles presentan un riesgo adicional ya que, además de los atropellos, cuentan con elementos específicos vinculados a los sistemas de electrificación que pueden causar mortalidad por colisión con la catenaria y las líneas de suministro de electricidad (Figura 23.1).
- Los impactos de las vías de transporte sobre las aves son específicos para cada especie, por lo que debe tenerse en cuenta la avifauna existente en el entorno de la vía. Las especies más afectadas por el riesgo de colisión son las de vuelo raso y lento (avutardas, sisones, anátidas o galliformes, entre otras), así como aquellas especies que encuentran alimento en los taludes o en la propia plataforma de circulación de trenes (fundamentalmente aves de presa y carroñeras).
- La prevención de impactos sobre las aves deberá, por ello, tenerse particularmente en cuenta en el diseño de los trazados. Evitar que estos discurran por hábitats que alberguen una riqueza de aves sensibles a mortalidad por atropello, o por colisión con elementos de la infraestructura, constituye la medida más importante para evitar efectos negativos sobre la avifauna.
- Para reducir los impactos se requiere identificar las zonas de riesgo, que dependen del tipo de infraestructura. En carreteras, la zona con riesgo de atropellos (colisión con tráfico) se sitúa principalmente desde el suelo hasta los 4 m, mientras que en ferrocarriles esta zona se amplía hasta los 5,3 m, que es la altura de la parte inferior



Minuartia

de la catenaria. Además, hay que añadir la zona de riesgo por colisión con el cableado, entre los 5,7-8,5 m.

- Otro impacto que distingue las líneas de ferrocarril de las carreteras es el riesgo de electrocución. Las especies más vulnerables a este impacto son las rapaces, ya que utilizan los elementos de la infraestructura como posadero y tienen una envergadura alar suficiente como para hacer contacto simultáneamente con diversos elementos del sistema de electrificación.

Medidas para reducir la frecuencia de vuelos en zonas de riesgo

- Un aspecto importante de cara a evaluar el riesgo de atropello de avifauna en infraestructuras lo constituye la configuración en alzado de esta. Así, se observa una reducción de la mortalidad en tramos de desmonte, ya que en estos casos las aves tienden a cruzar la infraestructura fuera de la zona de peligro. Por su parte, los seguimientos realizados sugieren que los grandes terraplenes parecen relacionarse con un mayor riesgo de incidentes.
- Las medidas incluidas en esta sección reducen la frecuencia de cruce de aves por las zonas de riesgo, tanto de atropello como de colisión, contribuyendo a mitigar la mortalidad causada por ambas razones.

- Una de las medidas con este fin son los **caballones de tierra**, consistente en caballones de material natural (Figura 23.2). Situados a ambos lados de la plataforma de vía, obligan a las aves a elevar su trayectoria de vuelo, reduciéndose el riesgo de mortalidad. Además, estos caballones también reducen la contaminación acústica en los hábitats circundantes y pueden facilitar la implementación de medidas para favorecer la biodiversidad y para la integración paisajística de la vía (véase Ficha 26). La construcción de caballones requiere ampliar la ocupación de terreno en los márgenes de la vía, con anchuras adicionales de entre 3 y 5 m, con lo que aumenta la superficie de los hábitats adyacentes afectados por la infraestructura y también los costes de expropiación. Por ello, uno de los criterios de diseño será la minimización de la ocupación de terreno.
- Otra alternativa son las **pantallas anticolidión**. Se trata de estructuras similares a las de protección acústica, constituidas por paneles que pueden ser de diferentes materiales opacos (hormigón, madera, metal, etc.) (Figura 23.3). También pueden aplicarse las pantallas metálicas microperforadas. En cualquier caso, debe evitarse el uso de pantallas transparentes que requerirán medidas adicionales para aumentar su visibilidad para las aves (véase Ficha 24). Se instalarán al borde de la plataforma de circulación, en ambos lados, paralelas a la vía y a lo largo de todo el tramo objeto de protección.
- Para evitar riesgos de colisión con la catenaria se recomienda que tengan una altura mínima de entre 3-5 m, mientras que en carreteras acostumbra a ser suficiente con una altura de 2-3 m. Las pantallas de mayor altura pueden generar dificultades de estabilidad por el 'efecto vela' y, además, conllevan un alto impacto visual, por lo que debe identificarse cuál es la altura mínima indispensable en cada caso. Es recomendable la instalación de este tipo de pantallas en tramos de la vía en los que se prevea un alto número de desplazamientos transversales de aves a la misma, como puede ser el caso de intersección de hábitats esteparios, cursos fluviales o humedales, en los cuales las vías acostumbran a discurrir sobre viaductos. En los puentes y viaductos las pantallas opacas presentan limitaciones en cuanto a su altura debido a la fuerza del viento y de los vehículos. Para incrementar la altura pueden utilizarse pantallas metálicas perforadas (Figura 23.3).
- Otra tipología de pantallas anticolidión de aves son las **pantallas de tubos exentos (PTE)**, generalmente metálicos, cuyo tamaño y separación dependerá de las especies objetivo y del tramo de aplicación (Figura 23.4). En general, son más efectivas para especies de gran tamaño y en espacios abiertos o cerca de humedales, si bien pueden utilizarse también para evitar riesgo de colisión de aves de tamaño medio y en otros tipos de hábitats. La parte superior de los postes debe tener una forma que impida el posado de las aves para no fomentar la presencia de aves en zonas de riesgo, así como una pieza helicoidal en la parte superior para limitar la fatiga del material (Figura 23.5). Como para otro tipo de pantallas, en general se recomienda una altura mínima de entre 3-5 m en ferrocarriles, y de unos 2-3 m en carreteras en función de las limitaciones estructurales que pudieran existir en puentes y viaductos. Los tubos deben instalarse en ambos lados de la vía de forma alterna, con una separación variable entre ellos (entre 1-2,5 m), pudiendo modificarse en función de la especie objetivo.
- En el marco de un proyecto LIFE se desarrolló y monitorizó una pantalla tipo de tubos exentos (Figura 23.5) en una línea de ferrocarril. Esta pantalla consistió en postes de acero galvanizado de 120 mm de diámetro exterior y 2,5 mm de espesor, dispuestos cada 2,4 m al tresbolillo, de tal forma que el efecto visual de elementos fue de 1 elemento cada 1,2 m. La altura de los postes sobre la rasante alcanzó los 5 m a los que hay que añadir una pieza de 0,5 m que se colocó en la parte superior para

evitar el posado de las aves, con lo que se obtuvo una altura total de 5,5 m. Los seguimientos realizados en esta pantalla han registrado un descenso en la frecuencia del cruce de las aves por las zonas de riesgo de entre el 10-22%. En algunos viaductos de la red ferroviaria se han instalado este tipo de pantallas con algunas singularidades. Los perfiles utilizados presentan un diámetro exterior que oscila entre 100 y 150 mm con una separación de postes variables entre 0,5 y 2 m, con alturas que se sitúan entre 3 y 5 m, dependiendo de la capacidad estructural de elemento en el que se han colocado.

- En algunos puntos puede alcanzarse el mismo objetivo mediante la plantación de árboles en los límites del dominio público, siempre que se encuentren suficientemente alejados de la plataforma de circulación, como para no suponer riesgos de atracción de aves a zonas con riesgo de colisión. Además, de esta forma pueden reducirse las perturbaciones por luz y ruido a los hábitats adyacentes. En estos casos, deben evitarse especies con frutos que puedan atraer a las aves.

Señalización para evitar la colisión con vallados

- Para reducir el riesgo de colisión con el vallado perimetral de las infraestructuras podrán aplicarse medidas de señalización como las que se describen en la Ficha 24 (Figura 23.6).

Señalización para evitar la colisión con el cableado en ferrocarriles

- Para evitar el riesgo de colisión de aves con el cableado asociado al sistema de electrificación de ferrocarriles es necesario aumentar su visibilidad y detectabilidad. La información sobre estas medidas se basa en la Norma ADIF Electrocución (NAE) 121 'Medidas

para la protección de la avifauna en la línea aérea de contacto'. Se recomienda la consulta de dicha norma, que incluye información más detallada sobre el análisis de los riesgos de colisión y electrocución de aves, así como las medidas a implementar en cada caso.

- Las espirales son dispositivos eficaces para señalar el cableado y reducir el riesgo de colisión (Figura 23.7). Si bien en líneas de alta tensión suelen instalarse en los cables de tierra, en la catenaria de los ferrocarriles solo pueden instalarse en el cable *feeder* o, en ausencia de éste, en el cable de tierra.
- Los dispositivos de señalización de cableado pueden ser de diferentes colores y medidas, aunque algunos estudios indican que las más efectivas son las de color rojo, 1 m de longitud y 30 cm de diámetro. Se instalarán enrolladas cada 10 m, con un agarre firme que evite su desplazamiento. En los casos que exista vía doble se recomienda colocar estos elementos al tresbolillo de tal forma que se genere un efecto visual de 1 elemento cada 5 m.

Medidas para reducir el riesgo de electrocución en ferrocarriles

- En ferrocarriles, en función del riesgo, puede ser necesario aplicar medidas destinadas a reducir el riesgo de mortalidad por electrocución asociado a las líneas de suministro de electricidad de la infraestructura y con el propio sistema de electrificación. En todo caso, cabe diferenciar entre las medidas a aplicar en las líneas de suministro, que serán las propias de los tendidos eléctricos, de las líneas aéreas de contacto, que deberán atender a la normativa que las regula en el ámbito ferroviario.
- La medida más eficaz consiste en el diseño de sistemas de electrificación que reduzcan la posibilidad de que las aves contacten simultáneamente con dos elementos del sistema, mediante la separación de los elementos de riesgo o su aislamiento.

- También se recomienda la protección de los elementos con aislantes, de los cuales existen distintos tipos, dependiendo del elemento del sistema que se quiera proteger (Figura 23.8; ver más detalles en la Norma ADIF Electrocución (NAE) 121 'Medidas para la protección de la avifauna en la línea aérea de contacto'). Estos aislantes están fabricados con silicona ignífuga con alto nivel de hidrofobicidad, o un material similar. De forma general, se recomienda instalar aislantes 1 m a cada lado de los elementos de riesgo.
- Alternativamente, pueden instalarse dispositivos disuasorios para evitar que las aves se posen en las torres eléctricas, como púas u otros obstáculos físicos (Figura 23.10)

Mantenimiento

- Deberá asegurarse el correcto mantenimiento de las medidas, reparando periódicamente los desperfectos observados. En el caso de los caballones de tierra, se deberá evitar que se produzcan fenómenos erosivos, en este sentido es necesario realizar tratamientos de revegetación cuando estos elementos se construyen a fin de conseguir una cubierta vegetal que minimice este riesgo.
- Los materiales de construcción de las pantallas deberán garantizar una alta durabilidad, así como reducir la posibilidad de que puedan ser objeto de actos vandálicos.
- Los elementos de señalización de cableado deben ser objeto de inspección periódica para sustituir los deteriorados.



Figura 23.1. En algunos tramos de líneas de ferrocarril puede producirse mortalidad de aves por colisión con la catenaria y otros cables asociados al sistema de electrificación de la infraestructura. Este riesgo suele ser mayor en tramos que discurren en terraplén. Foto: F. Navàs.



Figura 23.2. Caballones de tierra contruidos en el margen de una línea de ferrocarril para forzar a las aves a elevar su trayectoria de vuelo. Foto: ADIF - Alta Velocidad.



Figura 23.3. Las pantallas metálicas permiten elevar la altura del vuelo de las aves reduciendo el riesgo de mortalidad por colisión. Las pantallas opacas (izquierda), además, permiten reducir la contaminación acústica en los hábitats circundantes. Fotos: ADIF - Alta Velocidad.



Figura 23.4. Pantalla de tubos sobre un viaducto en una vía de ferrocarril de alta velocidad. Foto: ADIF - Alta Velocidad.



Figura 23.5. Vista general de una pantalla de tubos exentos (PTE) instalada en una línea de ferrocarril (izquierda) y detalle de los postes con un diseño en su parte superior que dificulta el posado de las aves (derecha). Fuente: ADIF - Alta Velocidad y Proyecto LIFE Impacto Cero.



Figura 23.6. Señalización del tendido de la catenaria y del cerramiento mediante espirales y placas, respectivamente, en un tramo de línea de ferrocarril de alta velocidad que discurre por una zona con presencia de aves esteparias. No se dispone de datos de seguimiento sobre la efectividad de esta medida. Foto: CEDEX.



Figura 23.7. Detalle de una espiral instalada para aumentar la visibilidad de un tendido eléctrico. Existen gran diversidad de elementos que se aplican a la señalización de líneas de suministro, que no se tratan en detalle en este documento. Foto: J.Uhlikova ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').

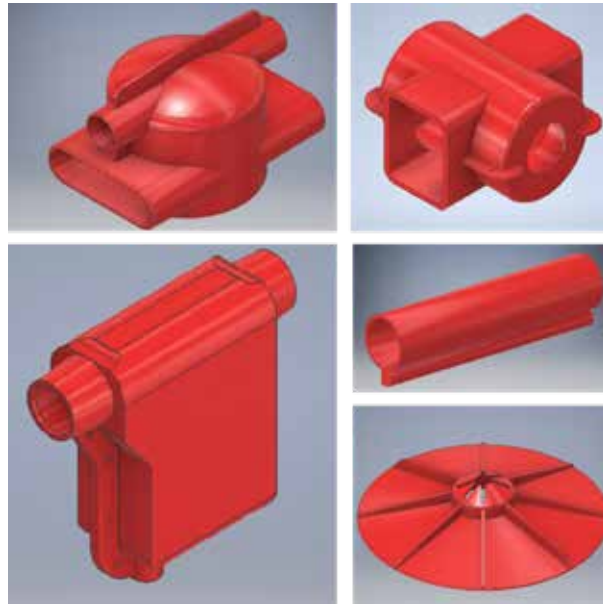


Figura 23.8. Distintos tipos de aislantes utilizados en líneas de alta velocidad. Fuente: Norma ADIF Electrocción 121.



Figura 23.9. Cernícalo común posado en un poste de soporte de cableado. Foto: Luis M. Fernández.



Figura 23.10. Púas para evitar que las aves se posen bajo un viaducto. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos de referencia

- Aves.

Características y prescripciones básicas

- En esta Ficha se describen distintas medidas destinadas a evitar los choques de aves con pantallas y vallados perimetrales. Se trata de elementos que se incorporan para aumentar su visibilidad y forzar un cambio de trayectoria de las aves (habitualmente se trata de una elevación de vuelo) evitando así la colisión (véase también Ficha 23).

Señalización de pantallas transparentes

- Las pantallas acústicas transparentes instaladas en los márgenes de las vías causan mortalidad de aves que colisionan con ellas al no percatarse de su presencia. Para prevenir este conflicto será preferible optar, siempre que sea viable, por la instalación de pantallas opacas.
- Este conflicto aparece con mayor frecuencia en pantallas situadas en márgenes de puentes y viaductos, ya que muchas aves vuelan siguiendo la trayectoria de los cursos fluviales.
- Para evitar este problema se recomienda incorporar a las pantallas transparentes marcas de un color que contraste fuertemente con el color del paisaje del entorno, especialmente durante el amanecer y el anochecer, períodos de mayor movilidad de las aves. Los colores más recomendables en entornos naturales serán el blanco y el naranja utilizados en equipamientos de advertencia. Se elegirá uno u otro en función de cuál sea el que ofrezca el mejor contraste respecto al color del entorno (Figura 24.1).



F. Navàs

- En paisajes de interés para la avifauna que tienen durante una parte importante del año tonalidades ocres o marrones (humedales, ambientes esteparios, etc.), las marcas deberán ser de color claro, preferiblemente blanco. Este color además aumenta su visibilidad en los períodos crepusculares, que coinciden con una mayor intensidad de desplazamientos de aves.
- En otros contextos paisajísticos con predominio de tonos verdes se pueden utilizar marcas de color naranja además del blanco. Otra opción es combinar ambos colores (Figura 24.1 B1 y B2).
- Las franjas verticales son el tipo de marca más adecuado. Deberán tener una anchura mínima de 0,5 cm (o hasta 2 cm si existe poco contraste con el fondo) y una separación máxima entre ellas de 10 cm. Estas franjas deberán cubrir al menos el 15 % de la superficie de la pantalla.
- Estas marcas verticales pueden colocarse fácilmente mediante adhesivos para reducir la mortalidad de aves asociada a pantallas ya instaladas.
- Se desaconseja la colocación de adhesivos con siluetas de rapaces (Figura 24.3). Este no es un sistema efectivo, ya que las aves no las reconocen como sus depredadores, como sería su objetivo. Sólo se ha repor-

tado en algún caso que se ha conseguido efectividad cuando la densidad de adhesivos alcanza un alto grado de recubrimiento de la pantalla.

- Se comercializan también adhesivos no visibles para los humanos, pero que reflejan la luz ultravioleta y que serían visibles por las aves. Sin embargo, estos sistemas no disponen todavía de seguimientos contrastados que avalen su efectividad.

Señalización de vallados perimetrales

- Algunas especies de aves, especialmente de hábitos esteparios, como la avutarda, el sisón (*Tetrax tetrax*) u otras especies de vuelo raso y lento, pueden sufrir mortalidad por colisión con vallados, por lo cual estos deberán equiparse con señales que aumenten su visibilidad. Son especialmente problemáticos los que disponen de alambre de espino, por lo que se deberá evitar su uso.
- En tramos de infraestructura en trinchera, con el cerramiento por encima de la cota de la vía, se ha aplicado la instalación, en la parte superior de la pantalla, de placas de color blanco, de 30 x 15 cm, con una separación en horizontal entre ellas de 2 m y dispuestas en dos hileras a distinta altura y de forma alterna para evitar colisiones de aves, recomendándose el uso de placas metálicas preferentemente, ya que son menos susceptibles al deterioro que las placas de plástico. No se dispone de resultados que corroboren la efectividad de esta medida (Figura 24.2).

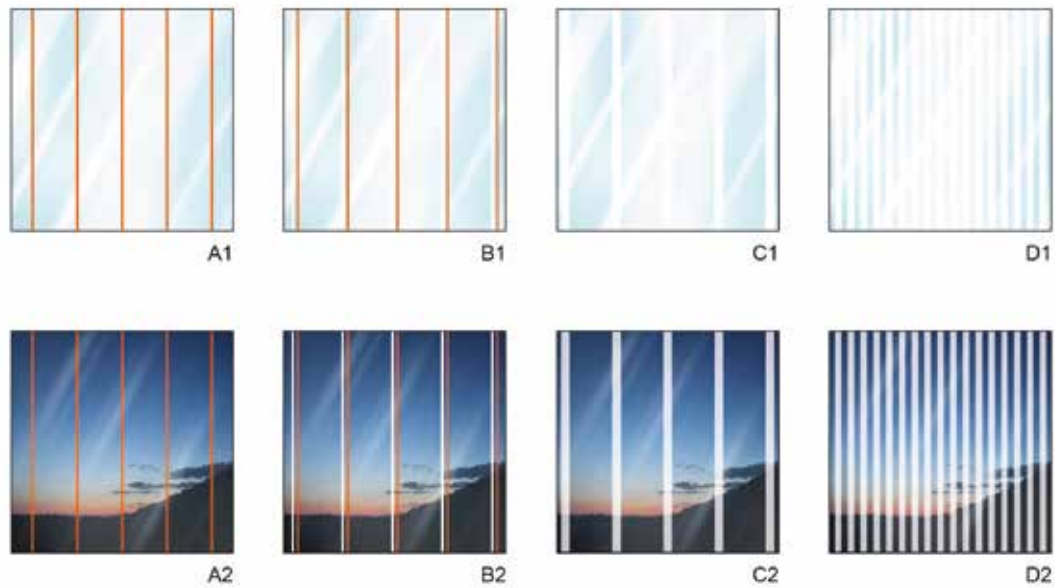


Figura 24.1. Esquema que muestra distintas opciones de señalización de pantallas mediante franjas verticales. Se trata de utilizar los colores que garantizan el máximo contraste con el fondo en los momentos en los que hay mayor intensidad de desplazamientos de aves. La combinación de tonos naranja y blanco es la que ofrece mejores resultados para distintas situaciones.



Figura 24.2. Marcaje del cerramiento perimetral mediante placas de color blanco para aumentar su visibilidad y reducir las colisiones de aves. Foto: ADIF - Alta Velocidad.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 24.3. Pantalla transparente con siluetas de rapaces que no son efectivas para impedir las colisiones de aves. Además, las bandas verticales no destacan, ya que son del mismo color que la vegetación del entorno. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos de referencia

- Pequeños mamíferos, reptiles y anfibios.

Características y prescripciones básicas

- En esta Ficha se describen distintas adaptaciones de elementos de las infraestructuras que se ha constatado que causan mortalidad de pequeños animales.



F. Navàs

Arquetas y sifones

- Las arquetas, sifones y otras estructuras asociadas a la red de drenaje perimetral o transversal dificultan los movimientos de las especies de pequeño tamaño. Además, pueden ser una trampa para estos animales si caen por los espacios entre las rejas protectoras y quedan atrapados en su interior, pudiendo perecer ahogados o de inanición. Para minimizar este impacto deberán adecuarse rampas en uno o más lados de estos elementos para facilitar la salida de los animales que se encuentren en su interior.
- Estas rampas deberán tener una pendiente óptima de 30°, en todo caso inferior a 45°.
- La superficie de las rampas debe ser rugosa para favorecer el ascenso de los animales por las mismas.
- Los enchachados de piedra son especialmente adecuados para el revestimiento de elementos de la red de drenaje, y también son aplicables al drenaje transversal, concretamente para sustituir bajantes escalonadas en salidas de estructuras (Figura 9.7).

Cunetas y bordillos

- Las cunetas longitudinales que presentan la pared exterior vertical o con elevada pendiente no permiten que los animales

de pequeño tamaño que hayan podido acceder a la calzada regresen a los terrenos adyacentes. Por ello, se recomienda que las cunetas longitudinales tengan continuidad con el entorno y que su pared exterior tenga una pendiente inferior a 45° (Figura 25.1). De esta manera se paliará el efecto barrera que de otra forma ejercen las cunetas sobre pequeños animales.

- También los bordillos de los márgenes de las carreteras, normalmente verticales, son una trampa mortal para muchos animales. Se deberán adecuar rampas de salida con una pendiente inferior a 45° cada 25 m como máximo, o, como alternativa, se construirán bordillos en rampa (Figuras 25.1 y 25.2).
- Estas medidas son especialmente importantes en vías que crucen entornos naturales con una alta diversidad faunística o en los que se prevea algún conflicto con una especie en concreto.
- En aquellos lugares donde sea posible pueden implementarse Soluciones basadas en la Naturaleza, como drenajes y cunetas naturalizadas (véanse Fichas 26 y 27). Estas medidas mejoran la infiltración de agua, reduciendo el riesgo de inundaciones, y no suponen un riesgo de mortalidad para la fauna de pequeño tamaño.

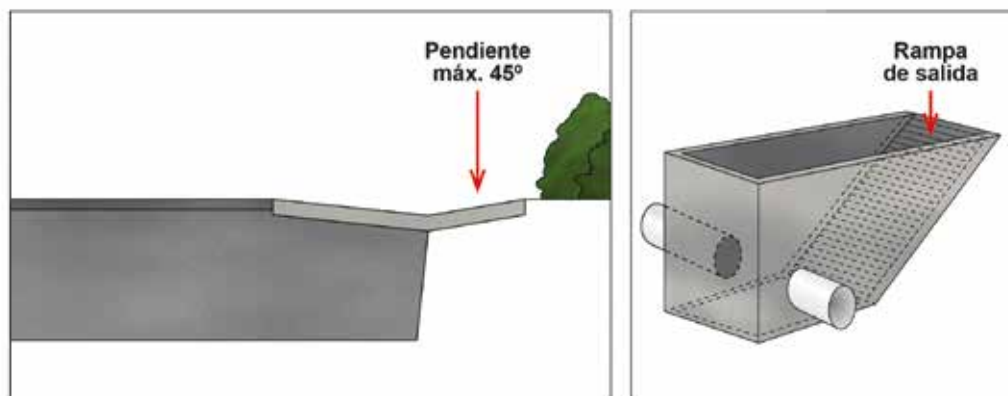


Figura 25.1. Esquema de una cuneta y de la rampa de salida de arquetas u otros elementos del sistema de drenaje perimetral.



Figura 25.2. Cuneta que permite un fácil acceso a los márgenes de la vía de los animales que hayan cruzado la calzada. Foto: F. Navàs.



Figura 25.3. Transición gradual entre la vía y el entorno. Foto: C. Rosell.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 25.4. La pared vertical de la cuneta supone una barrera para los animales pequeños que caen en el interior de la calzada y no pueden salir de ella. Foto: C. Rosell.



Figura 25.5. Las rejillas protectoras de pozos o arquetas deben ser densas para evitar la caída de pequeños animales en su interior. Además, es preferible que las paredes de estos se adapten para facilitar la salida de animales. Foto: C. Rosell.

Especies y grupos de referencia

- Todo tipo de organismos. En particular conllevan beneficios para la conservación de flora, invertebrados, entre ellos los polinizadores, y otros taxones de pequeño tamaño. También pueden conseguir restaurar determinados tipos de hábitat.

Características y prescripciones básicas

- Los hábitats asociados a vías de transporte comprenden espacios con mayor o menor grado de naturalización incluidos dentro del dominio público y gestionados por los responsables de las vías. En esta Ficha se detallan las medidas aplicables a los hábitats terrestres, tales como márgenes de vías, áreas de descanso o bases de mantenimiento, entre otros. Los hábitats acuáticos se tratan en la Ficha 27.
- Las directrices incluidas en esta Ficha son aplicables tanto a la fase de proyecto, como a la de operación y conservación de la vía. En esta etapa, los cambios en la gestión y mantenimiento de márgenes y otras áreas, como las de servicio o auxiliares, pueden generar beneficios para la conservación de la biodiversidad, y favorecer la efectividad de medidas ya implantadas (como los pasos de fauna).
- En el diseño y gestión de estas áreas debe primar siempre la seguridad vial. Las actuaciones deben adaptarse a cada situación, considerando las características de la vía y el paisaje de su entorno.
- En ningún caso deben crearse 'trampas ecológicas', como se denominan los hábitats que atraen fauna silvestre a lugares que comportan riesgos de mortalidad y que pueden amenazar su conservación. Tampoco se atraerán animales hacia zo-



Minuartia

nas en las que puedan causar accidentes de tráfico (véase Ficha 22).

- Las medidas para favorecer la biodiversidad pueden incluir una gran diversidad de actuaciones y van destinadas a:
 - Preservar el buen estado de conservación, y/o promover la recuperación, de especies de flora y fauna (p. ej., polinizadores) e incluso de hábitats de interés.
 - Conseguir una completa revegetación de los márgenes, con comunidades que requieran bajo mantenimiento, adaptadas a las condiciones del contexto actual, pero considerando también proyecciones asociadas al cambio climático.
 - Garantizar un buen drenaje que favorezca la estabilidad de los taludes.
 - Evitar la proliferación de Especies Exóticas Invasoras.
 - Reducir riesgos de propagación de incendios forestales.
 - Promover la aplicación de Soluciones basadas en la Naturaleza.
- Una adecuada planificación y gestión de la naturalización de áreas vinculadas a infraestructuras, además de contribuir a reducir la pérdida de biodiversidad, permitirá reducir costes de mantenimiento y mejorará la resiliencia de la infraestructura

frente a fenómenos climáticos extremos, previniendo deslizamientos de tierras, inundaciones y otros riesgos asociados. Además, puede generar beneficios en las personas que habitan en las proximidades de las vías, por ejemplo, mejorando la calidad del aire o reduciendo el impacto de eventos catastróficos, como grandes avenidas.

Planificación de las actuaciones

- Maximizar la relación coste-beneficio de las medidas aplicadas depende de diversos factores, como las características del paisaje por el que discurre la infraestructura, las características técnicas de la vía o los riesgos climáticos a los que está expuesta. Por tanto, debe realizarse un análisis específico en cada caso para definir la solución más idónea.
- En todo caso, el diseño y gestión de estos hábitats no deben generar impactos negativos adicionales, como pueden ser facilitar la proliferación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28), la propagación de incendios u otros impactos indeseados.
- Tanto los proyectos de nuevas vías (y en particular el diseño de las restauraciones y su integración paisajística), como la planificación del mantenimiento de las zonas verdes asociadas a las vías en funcionamiento, deben incluir una **zonificación que delimite las áreas con potencial de naturalización**, considerando los ecosistemas y el paisaje del entorno, además de las características de la vía y del tráfico. Asimismo, deben identificarse las **áreas más vulnerables a distintos riesgos para la biodiversidad**, como la propagación de incendios forestales, la dispersión de tóxicos, de Especies Exóticas Invasoras, u otras amenazas para la biodiversidad que, además, también afectan el bienestar y la

salud de las personas, y actividades económicas, como los cultivos.

- La planificación debe incluir la identificación a dos escalas. En primer lugar, hay que delimitar a gran escala los tramos con mayor potencial de naturalización y las que concentran riesgos más altos para ecosistemas vulnerables de su entorno. En segundo lugar, hay que planificar a escala de detalle las áreas de actuación y tareas a llevar a cabo en cada sector de los márgenes de las vías, en pasos de fauna y en instalaciones auxiliares.
- Los tramos y áreas que crucen Espacios Naturales Protegidos, corredores ecológicos, u otras áreas de alto interés para la conservación de especies amenazadas serán consideradas prioritarias para la aplicación de actuaciones que favorezcan la biodiversidad.
- Una adecuada planificación es clave para identificar y priorizar aquellas actuaciones que permitan obtener un mayor beneficio. Además, permitirá optimizar los costes de las diferentes actuaciones.

Medidas para favorecer la flora y los hábitats

- Las restauraciones de los hábitats asociados a infraestructuras deben diseñarse de manera que **requieran un bajo mantenimiento**. Por ello deberá evitarse el aporte de riego o fertilizantes y el uso de productos tóxicos para la sanidad vegetal o el control de vegetación. Durante la fase de mantenimiento, pueden también plantearse cambios de gestión (p. ej., en plantaciones, en períodos de siega, erradicación de alguna especie, etc.) que permitan alcanzar los objetivos.
- Es esencial partir de **suelos poco ricos en nutrientes y de plantas adaptadas a las condiciones locales**. Se priorizará por

ello el uso de suelos de la zona y bancos de semillas o plantación de ejemplares, de proximidad. El traslado de materiales y plantas de zonas y viveros alejados incurre en riesgos de trasladar organismos invasores que pueden ser peligrosos para los ecosistemas locales. Además, así se consigue reducir la huella de carbono generada por las actividades de restauración paisajística.

- Los procesos de gestión de suelos y de revegetación se realizarán aplicando protocolos que minimicen el riesgo de transporte e implantación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28). Para ello, como se ha indicado, se utilizarán principalmente materiales de la propia zona, tanto por lo que respecta a suelos, como a plantas. Estas procederán siempre que sea posible, de viveros locales que utilicen ejemplares procedentes de la propia zona, o en todo caso, con garantías absolutas de bioseguridad. Cabe considerar la posibilidad de promover actuaciones específicamente destinadas a favorecer especies de flora escasas o incluidas en el 'Libro Rojo de la flora vascular amenazada' (Figura 26.1).
- En plantaciones de los márgenes de la vía en zonas de riesgo de incendio forestal se atenderá a este aspecto favoreciendo **especies con bajo riesgo de ignición y evitando la continuidad de las copas de árboles** entre ambos lados de la vía. Con esta medida se pretende reducir el riesgo de que los incendios se inicien y propaguen a través de las vías de transporte. También puede ser preciso desbrozar y/o talar el arbolado en la zona más próxima a las plataformas de circulación, en particular cuando los árboles sean de especies más propensas a la propagación de incendios (p. ej. *Pinus* sp) (Figura 26.2).
- La **generación de mosaicos con hábitats heterogéneos** de especies de bajo porte

favorece la diversidad de los grupos faunísticos que albergan estos hábitats. No obstante, dependiendo de las condiciones locales (climatológicas, topográficas, etc.), de las especies existentes y de los usos del entorno, puede ser más recomendable fomentar un tipo de hábitat concreto.

- Las plantas que se utilizarán en las revegetaciones también pueden seleccionarse para **favorecer insectos polinizadores** (véase Ficha 29), especialmente en sectores de los márgenes alejados del tráfico, y en otras zonas asociadas a las infraestructuras (p.ej. zonas verdes de áreas de descanso o instalaciones auxiliares).
- En márgenes de vías suficientemente extensos, la naturalización de los hábitats puede aumentar a medida que se alejan de la plataforma de circulación. En zonas adyacentes al tráfico se mantendrá vegetación herbácea de bajo porte, mientras que la diversidad de especies y porte pueden aumentar progresivamente reservando las comunidades de arbustos altos o árboles, para las zonas más alejadas (Figura 26.3). Esta configuración también permite reducir el riesgo de propagación de incendios forestales que, en muchas ocasiones se inician en las inmediaciones de las vías de transporte.
- Para reducir las perturbaciones por luz y ruido a los hábitats adyacentes y reducir el riesgo de mortalidad de aves y murciélagos elevando su altura de vuelo (véase Ficha 23) puede ser recomendable la **plantación de arbustos altos o árboles que puedan ejercer el efecto de apantallamiento** (Figura 26.4). Estas franjas de vegetación se situarán preferentemente en zonas alejadas de las plataformas de circulación de vehículos para no generar riesgos de mortalidad por colisión. También es adecuado plantarlas en las partes superiores de los desmontes cuando la vía discurra en trinchera. Debe evitarse, en todo caso, la plantación

de especies con frutos que puedan atraer a las aves, especialmente en zonas con riesgo de atropello.

- Para facilitar el mantenimiento de la vegetación, pero también para evitar daños al cerramiento perimetral, convendrá **dejar un espacio entre el vallado y la vegetación** arbustiva o arbórea más próxima al mismo (Figura 26.5).
- Una **adecuada restauración de la vegetación en los taludes** permitirá mejorar la estabilidad del suelo, incrementando la infiltración y reduciendo la escorrentía. Además, pueden favorecerse especies con sistemas radiculares profundos y extensos que maximicen estos beneficios. Ello es particularmente importante en zonas con alto riesgo de que se produzcan deslizamientos.
- Estas medidas pueden combinarse con la **aplicación de Soluciones Basadas en la Naturaleza** enfocadas a la gestión del agua, como pueden ser cunetas perimetrales de infiltración, que también reducen el riesgo de deslizamientos (véase Ficha 27). Los bancales revegetados y la aplicación de técnicas de ingeniería ecológica también consiguen una mayor estabilidad de los taludes a la vez que beneficios para la biodiversidad (Figura 27.2).

Medidas para favorecer a la fauna

- Las zonas verdes asociadas a áreas de descanso, instalaciones auxiliares y otras áreas no adyacentes a las plataformas de circulación de tráfico, como los pasos de fauna, son particularmente adecuadas para facilitar hábitats que alberguen pequeña fauna silvestre. Ello también es posible en algunos sectores de los márgenes de vías, siempre que no se generen riesgos para la seguridad vial, de mortalidad o de causar daños a la fauna. Con ello, los titulares y gestores de vías pueden contribuir a

reducir la regresión de especies amenazadas y la pérdida de biodiversidad.

- Además de un adecuado diseño de las comunidades vegetales, debe considerarse la posibilidad de **instalación de refugios para la fauna** que pueden facilitar la colonización de estos hábitats y, en particular, potenciar el uso de los pasos de fauna, incluso por parte de pequeños organismos, favoreciendo así la conectividad ecológica. Dependiendo de las especies objetivo, estos refugios pueden ser de distintos tipos.
- Los **montículos e hileras de piedras** (Figura 26.6), así como los gaviones y muros de piedra seca, pueden ser instalados para favorecer la presencia de diversos tipos de invertebrados, como moluscos y una gran diversidad de insectos, así como de reptiles y pequeños mamíferos (musarañas o ratones, entre otros). Son particularmente adecuados para situarlos a lo largo de los pasos de fauna y en sus accesos (véase Fichas 1, 2 y 3). También pueden disponerse en zonas ajardinadas o creando muretes de delimitación en instalaciones y áreas auxiliares.
- Las **acumulaciones de madera muerta**, como ramas, troncos o tocones de árboles (Figura 26.7), también son adecuados para disponerse en los pasos de fauna y facilitan refugios para una gran diversidad de invertebrados, y organismos saprofitos que proliferan en materia orgánica en descomposición (véase Ficha 29).
- Los **refugios para polinizadores** son de diversos tipos, y hay que escogerlos en función de las especies a favorecer. En zonas naturalizadas como los pasos de fauna, o en los márgenes exteriores de los taludes son adecuados troncos con agujeros de distintos tamaños (Figura 26.8). En jardines de áreas de descanso u otras zonas verdes asociadas a instalaciones pueden instalarse los denominados 'hote-

les de insectos' que integran diversos elementos que facilitan oquedades adecuadas para la cría de distintas especies de polinizadores (véase Ficha 29). Las características concretas de los refugios varían según las especies, y deben adaptarse a los requerimientos de los polinizadores de mayor interés de conservación que se localicen en la zona de actuación. No obstante, si no se dispone de esta información, en general se recomienda que los agujeros de nidificación se dispongan en troncos verticales de un mínimo de 1,5 m de alto. Deben tener diámetros variables (de 3 a 8 mm) y profundidades diversas (de 8 a 15 cm). En todos los casos es preferible que las entradas se dispongan con una orientación sureste. Cuando sea posible también se dispondrán suelos sin vegetación, ligeramente compactados para facilitar la nidificación de abejas silvestres que excavan nidos bajo tierra.

- En zonas alejadas del tráfico cabe la posibilidad de considerar la **instalación de cajas nido para aves y de refugios para quirópteros**, con distintos diseños según cuales sean las especies objetivo. También es posible considerar, para el caso de los murciélagos, la instalación de refugios bajo viaductos por los que discurran cursos fluviales; en ocasiones algunas especies utilizan como refugio las rendijas que quedan entre las distintas piezas que componen los viaductos (Figura 26.7; véase Ficha 31).

Mantenimiento

- Cuando se realicen actuaciones para favorecer la biodiversidad en hábitats asociados a vías de transporte es indispensable adaptar las tareas de mantenimiento para garantizar que se conservan los beneficios sin generar impactos no deseados, y siempre cumpliendo con los requerimientos de seguridad del tráfico.
- El calendario de labores de mantenimiento deberá adaptarse para no afectar las épocas de cría e hibernación de las especies objetivo.
- En general, se recomienda realizar una sola siega en otoño, para facilitar que los insectos y otros pequeños animales que tengan sus hábitats en los márgenes u otras zonas vinculadas a las vías puedan encontrar refugios antes del período invernal (véase Ficha 29). En tramos de concentración de accidentes con animales, se recomienda realizar esta siega a principios de septiembre, cuando empieza el período de máxima concentración de accidentes con ungulados (véase Ficha 22). En todo caso, el número de siegas, y el mejor momento para llevarlas a cabo, variará en función del contexto local y si son necesarias varias siegas, en tramos de alto interés para la biodiversidad, se pueden llevar a cabo por sectores, manteniendo mosaicos en los que queden manchas que mantengan plantas nutricias y refugios para insectos en sectores alejados de las plataformas de circulación.
- El riesgo de incendios forestales es un factor clave a tener en cuenta en la gestión de la vegetación, y pueden ser necesarias siegas antes del verano, después de la floración de la mayor parte de especies, facilitando que, tanto plantas como invertebrados puedan completar su ciclo vital. En todo caso, debe retirarse la vegetación muerta, o cualquier otro material inflamable limitando la posible propagación del fuego.
- Para el control de plagas y de vegetación en lugares en los que se requiera, deben fomentarse los medios mecánicos frente al uso de productos fitosanitarios de acuerdo a lo indicado por la Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el

marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. Los márgenes y medianas generalmente facilitan la escorrentía, lo que incrementa el riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas y de reducción de biodiversidad. En casos concretos que no supongan un riesgo para el tráfico, puede aplicarse el pastoreo controlado de ganado.

- Los márgenes y medianas son también importantes corredores para el establecimiento y la dispersión de Especies Exóticas Invasoras. Todas las tareas de mantenimiento de márgenes de vías y otras zonas verdes deben contar con protocolos que faciliten la detección y control de estas especies (véase Ficha 28). Para ello se facilitarán a los equipos de mantenimiento listados de las especies de mayor riesgo y se les formará y dotará de aplicaciones para dispositivos móviles que faciliten la identificación de las especies de mayor riesgo según cada situación. La detección precoz y la aplicación de medidas inmediatas de control son el sistema más efectivo para la contención de invasiones, reduciendo su impacto y coste en el largo plazo (véase Ficha 28).



Figura 26.1. Los márgenes de las vías pueden convertirse en refugios para especies de flora amenazada que desaparecen en zonas de cultivo intensivo aledaños a las infraestructuras. En este caso, los taludes permiten contribuir a la recuperación de flora de alto interés de conservación. Fotos: I. Mola ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 26.2. Los desbroces y/o talas de árboles en las proximidades de la calzada pueden ser recomendables para evitar el inicio o propagación de incendios forestales a través de márgenes de las vías de transporte. Foto: C. Rosell.

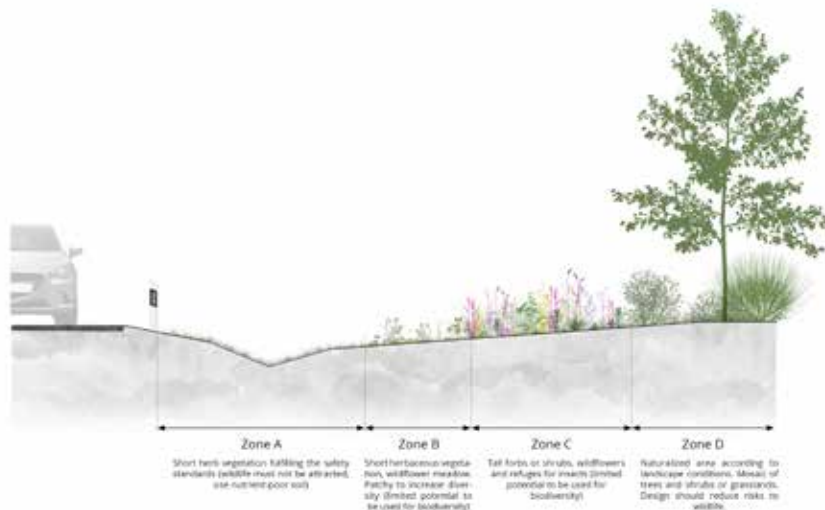


Figura 26.3. Esquema de plantaciones del margen de una carretera gestionada para beneficiar la biodiversidad. Primando la seguridad vial y la reducción de riesgos de mortalidad de fauna, en las más próximas a las vías no se realizarán plantaciones, o serán solo herbáceas de muy bajo porte. La naturalización puede aumentar progresivamente a medida que se aleja de las plataformas de circulación. Fuente: adaptado de Luell et al., 2003; Ascensão et al., 2015; Plantlife, 2019; Reck H. ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 26.4. La plantación de arbustos altos o árboles en la parte superior de los desmontes contribuye a elevar el vuelo de las aves reduciendo el riesgo de colisión con los vehículos. Además, pueden reducir las perturbaciones de luz y ruido en los ecosistemas adyacentes. Fuente: adaptado de Cerema, 2021 ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 26.5. Desbroces en ambos lados de los vallados perimetrales para facilitar su conservación y gestión. Fuente: Túneles BCS.



Figura 26.6. Refugios para fauna construidos mediante piedras. A: Hilera de piedras en un paso superior específico para la fauna proveyendo refugio para invertebrados, reptiles y pequeños mamíferos. B: Entrada de un refugio para micromamíferos instalado en un paso superior específico para la fauna en Francia. Fotos: Minuartia ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 26.7. Diversos tipos de refugios instalados en un viaducto adaptado para fomentar su uso por parte de la fauna. Pueden apreciarse refugios para murciélagos en el tablero del viaducto, así como hileras de piedras y de madera muerta en el suelo fomentando la presencia de una amplia comunidad faunística. Foto: Minuartia.



Figura 26.8. La instalación de troncos de madera muerta permite la nidificación de insectos polinizadores. Para facilitar su colonización pueden hacerse agujeros de distintos tamaños, de dimensiones variables según la especie que se quiera favorecer. Fotos: Minuartia.

Especies y grupos de referencia

- Organismos vinculados a ambientes acuáticos, incluyendo peces, anfibios, tortugas y mustélidos semiacuáticos.

Características y prescripciones básicas

- Los hábitats asociados a vías de transporte comprenden espacios con mayor o menor grado de naturalización incluidos dentro del dominio público y gestionados por los responsables de las vías. En esta Ficha se detallan las medidas aplicables a los hábitats acuáticos, tales como drenajes y balsas de retención, laminación, o de otro tipo, incluidos los estanques ornamentales en áreas de descanso u otras instalaciones auxiliares. Los hábitats terrestres se tratan en la Ficha 26 (es recomendable la lectura de esta Ficha que incluye también aspectos generales aplicables tanto a hábitats terrestres como acuáticos).
- Las directrices incluidas en esta Ficha son aplicables tanto a la fase de proyecto, como a la de operación y conservación de la vía. En esta etapa, los cambios en la gestión y mantenimiento de sistemas de drenaje pueden generar beneficios para la conservación de la biodiversidad, y favorecer la efectividad de medidas ya implantadas.
- En ningún caso deben crearse 'trampas ecológicas', como se denominan los hábitats que atraen fauna silvestre a lugares que comportan riesgos de mortalidad, o de otro tipo, como puede ser en el caso de balsas en los que las aguas tengan deficiente calidad.
- Los escenarios de cambio climático proyectados para la Península Ibérica muestran una reducción de las precipitaciones, concentrándolas además en cortos periodos de tiempo, así como un aumento de



C. Rosell

las temperaturas. Estos factores aumentan los riesgos de que se produzcan fenómenos meteorológicos extremos, y entre ellos, inundaciones, avenidas torrenciales, sequías e incendios forestales. Una adecuada gestión de drenajes y balsas asociadas a vías de transporte, además de facilitar la recuperación de especies acuáticas, permitirá atenuar los riesgos generados por esos eventos catastróficos.

- La aplicación de Soluciones basadas en la Naturaleza en estas áreas puede mejorar la resiliencia de las infraestructuras y generar importantes beneficios para las personas que habitan en las proximidades de la vía. La construcción de balsas de laminación, por ejemplo, permite acumular grandes masas de agua, facilitando la infiltración y ralentizando el drenaje en caso de grandes avenidas, reduciendo así el riesgo de inundaciones. Además, pueden también suponer beneficios para la biodiversidad, creándose hábitats para especies ligadas a medios acuáticos.

Planificación de las actuaciones

- Los sistemas de drenaje tienen una función esencial para la conservación de carreteras y ferrocarriles, facilitando una correcta recogida de las aguas y su transporte a zonas adecuadas para mantener las condiciones

de seguridad del tráfico y de conservación de las vías. La aplicación de actuaciones para favorecer la biodiversidad se centra principalmente en evitar riesgos de mortalidad de fauna, y en la naturalización de algunas balsas, de manera que puedan constituir hábitats de interés que contribuyan a la conservación de ecosistemas y especies acuáticas amenazadas.

- Tanto los proyectos de nuevas vías (y en particular su diseño de drenajes, balsas de retención y otros elementos asociados), como la planificación del mantenimiento de estos elementos en vías en funcionamiento deben: i) identificar medidas generales de aplicación a todo el trazado como adaptación de arquetas y sifones (Ficha 25) o de las balsas de retención, para evitar mortalidad por atrapamiento o ahogamiento; ii) identificar las balsas de retención de agua con contaminantes en las que debe excluirse el acceso de fauna y evitar la dispersión de aguas al entorno; y iii) identificar las balsas u otros puntos de agua susceptibles de ser adaptados para favorecer la biodiversidad.
- Se identificarán las balsas o estanques de retención y de laminación, que cuenten con una buena calidad del agua, y se considerará su adaptación si en algún caso puede permitir que albergue organismos acuáticos de interés, teniendo en cuenta que las balsas naturalizadas requerirán un mantenimiento particularizado, adaptado a las especies que lo habiten.
- Las actuaciones deben proyectarse con visión global, evaluando el conjunto de balsas de retención previstas en la vía, así como los humedales de su entorno, para seleccionar aquellos que garanticen mayores beneficios para la conservación de biodiversidad. Es interesante proyectar, cuando sea viable, sistemas de balsas que puedan ofrecer distintas condiciones ecológicas, albergando

una mayor diversidad biológica. En función de las condiciones locales puede ser más adecuado naturalizar un conjunto de pequeñas balsas, mientras que en otros casos será mejor considerar la adaptación de una sola masa de agua, de grandes dimensiones. Por ejemplo, esto es recomendable en zonas en las que se prevé un aumento de las sequías, conllevando mayor evaporación y el secado de las pequeñas balsas.

- Si se dispone de masas de agua naturalizadas a ambos lados de la vía deben construirse pasos de fauna según las especies objetivos (fundamentalmente anfibios; véase Ficha 11) para facilitar la conectividad entre ellas.

Calidad del agua

- Las condiciones físico-químicas del agua son un factor clave a tener en cuenta para evitar impactos negativos indeseados sobre la biodiversidad. Por ello las balsas diseñadas para la retención de contaminantes en márgenes de carreteras con gran intensidad de tráfico no son adecuadas para albergar fauna silvestre, ya que es probable que contengan tóxicos, y entre ellos, metales pesados. Estas **balsas con aguas contaminadas deben contar con cerramientos específicos que eviten la entrada de animales**, no sólo de gran tamaño, sino también de otros más pequeños como los anfibios, por lo que puede ser necesario que dispongan de un murete basal sobre el que se instale la malla (Figura 27.1; véanse Fichas 14 y 15).
- Un exceso de nutrientes también conlleva pérdida de calidad de los hábitats acuáticos, causando su eutrofización. Para evitarlo, **los suelos de los hábitats del entorno que drenan a estos sistemas deben ser pobres en nutrientes**, y no debe recurrirse a fertilizantes químicos.

Adaptación de balsas para favorecer biodiversidad

- Las balsas de retención adaptadas para favorecer la biodiversidad **se diseñarán en función de las especies y ecosistemas objetivo**, por lo cual el proyecto deberá definir las características más adecuadas, en lo que se refiere a profundidades y perfiles del entorno. En todo caso, es interesante que la zona inundable cuente con distintas profundidades, para facilitar mayor diversidad de ambientes y de especies, así como zonas adecuadas para la reproducción de distintas especies de anfibios.
- En el caso de balsas de sustrato natural (preferibles a las recubiertas de geomembrana u hormigón), **los márgenes deben tener pendientes suaves** para permitir la salida de la fauna que pueda penetrar o caer accidentalmente. Debe evitarse en todo caso el uso de geomembranas. En el caso de balsas de hormigón que no cuenten con cerramiento perimetral, se dispondrán rampas adecuadas para facilitar la salida de animales que puedan caer accidentalmente en ellas.
- Los colectores, arquetas y otros elementos asociados al sistema de drenaje deben diseñarse de manera que no constituyan trampas que puedan causar mortalidad de animales (véase Ficha 25)
- Se tendrán en cuenta, en todo caso, las medidas incluidas en la Estrategia nacional para la prevención, control y posible erradicación de Especies Exóticas Invasoras en medios acuáticos continentales en España.
- Los procesos de gestión de suelos y de revegetación se realizarán aplicando protocolos que minimicen el riesgo de transporte e implantación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28). Para ello, como se ha indicado, se utilizarán principalmente

materiales de la propia zona, tanto por lo que respecta a suelos, como a plantas. Estas procederán siempre que sea posible, de viveros locales que utilicen ejemplares procedentes de la propia zona, o en todo caso, con garantías absolutas de bioseguridad. Cabe considerar la posibilidad de promover actuaciones específicamente destinadas a favorecer especies de flora escasas o incluidas en el 'Libro Rojo de la flora vascular amenazada'.

- Siempre que sea posible, se utilizará vegetación existente en la zona antes de la construcción de la estructura. Las tierras provendrán también de esta zona y terrenos adyacentes, para aprovechar el banco de semillas y minimizar el riesgo de introducción de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28).
- Los estanques ornamentales en zonas ajardinadas de áreas de descanso podrían también ser naturalizadas. No obstante, con frecuencia actúan como reclamos para liberar Especies Exóticas Invasoras (como, por ejemplo, peces o tortugas acuáticas exóticas) actuando como puntos de dispersión de estas especies. En caso de que el proyecto paisajístico contemple estanques ornamentales deberá garantizarse que no se incluyen Especies Exóticas Invasoras ni de flora, ni de fauna. También se dispondrá de paneles que informen sobre la adaptación ecológica del estanque y la prohibición de liberar en él ningún organismo.

Adaptación de cunetas de drenaje

- Otros elementos de drenaje de las vías, como las cunetas de drenaje perimetral, también pueden naturalizarse (Figura 27.2), mejorando la infiltración de agua y reduciendo la dispersión de contaminantes y los riesgos de atrapamiento de fauna (véase Ficha 25).

- Es preferible que sean de **sustrato natural o seminatural y con una pendiente suave** en las paredes laterales para facilitar la salida de los animales que puedan caer en las mismas. Además, la pendiente longitudinal también debe ser suave para evitar la erosión.
 - En cunetas perimetrales que mantengan una inundación permanente durante largos períodos de tiempo, es recomendable la **incorporación de plantas macrófitas que permiten la captación de nitratos y fosfatos**, reduciendo su dispersión a los hábitats del entorno. En zonas de protección de aguas subterráneas la base debe quedar sellada para evitar su infiltración, conduciendo el agua a balsas de retención.
- realizarse durante períodos de reproducción de anfibios y otros en que la fauna presente mayor vulnerabilidad.
- Las tareas de mantenimiento deben facilitar la detección de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28). Para ello, y como en el caso de la gestión de hábitats terrestres, se facilitarán a los equipos de mantenimiento listados de las especies de mayor riesgo, y se les formará y dotará de aplicaciones para dispositivos móviles que faciliten la identificación de las especies de mayor riesgo según cada situación. La detección precoz y la aplicación de medidas inmediatas de control son el sistema más efectivo para la contención de invasiones, reduciendo su impacto y coste en el largo plazo (véase Ficha 28).

Mantenimiento

- El mantenimiento de los distintos elementos de drenaje superficial es fundamental para su correcto funcionamiento. Las medidas implementadas deben ser compatibles con las labores de inspección, limpieza, mantenimiento y conservación recogidas en la norma 5.2-IC de drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.
- Estas labores deben llevarse a cabo tanto regularmente como cuando se produzcan precipitaciones extraordinarias u otras circunstancias excepcionales.
- Cuando se requiera el drenaje y limpieza de balsas de retención naturalizadas, u otros cuerpos de agua susceptibles de albergar organismos acuáticos de interés, debe contemplarse el rescate y la retirada temporal de fauna, que puede mantenerse en la misma zona de actuación en contenedores adecuados. Para ello deberá disponerse de las correspondientes autorizaciones, y se contemplará, en caso de que fuera necesario, su traslado a centros de recuperación. Estas actividades no deben



Figura 27.1. El uso de técnicas de bioingeniería en los cursos fluviales que atraviesan las vías de transporte, frente a otras técnicas como las canalizaciones hormigonadas, facilita el restablecimiento de la vegetación y mejora la infiltración. Fotos: Diputación Foral de Bizkaia.



Figura 27.2. La aplicación de Soluciones basadas en la Naturaleza para la estabilización de taludes facilita su colonización por comunidades de flora y fauna, y contribuye a aumentar la resiliencia de la infraestructura. Foto: Minuartia.

Especies y grupos de referencia

- Especies Exóticas Invasoras (EEI), en particular las incluidas en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras.

Características y prescripciones básicas

- Según la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad una Especie Exótica Invasora (EEI) es 'aquella que se introduce o establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que es un agente de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor, o por el riesgo de contaminación genética'. Las EEI constituyen una de las mayores amenazas para la conservación de la biodiversidad y un problema emergente en relación con el cambio climático.
- Los terrenos asociados a las vías de transporte, y en particular sus márgenes y sistemas de drenaje, constituyen puntos muy vulnerables para la entrada y dispersión de EEI. Ello es debido a que los vehículos actúan como transportadores de semillas o propágulos de EEI y, además, porque durante la construcción y mantenimiento de las vías se producen situaciones con particular riesgo como los movimientos de tierras y las restauraciones de vegetación.
- La Estrategia de Desfragmentación Hábitats afectados por Infraestructuras Lineales de Transporte insta por ello, a la 'implementación de sistemas que permitan prevenir y controlar la llegada, proliferación, dispersión y asentamiento de EEI en los hábitats asociados a las infraestructuras lineales de transporte o adyacentes'. Y en el caso de las balsas y otros elementos de drenaje también debe considerarse la Estrategia Nacional para la Prevención, Control y posible Erradicación de Especies Exóticas Invasoras en Medios Acuáticos Continentales.



Minuartia

- Por otra parte, las especies cuya detección y control es prioritario serán las incluidas en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, que aporta el listado de EEI y es una herramienta dinámica susceptible de actualización que incluye fichas detalladas y cartografía de las distintas especies. Además, existen planes específicos para la gestión, el control y la posible erradicación de algunas de estas especies, como por ejemplo para el plumero de la Pampa (*Cortaderia selloana*), especie frecuente en los márgenes de las vías de transporte.

Las medidas de prevención y control de EEI son actuaciones aplicables al diseño, construcción y gestión de vías, destinadas a prevenir el transporte de especies de riesgo, a detectar precozmente las EEI que se implanten en la vía y aplicar medidas para su erradicación. Si esto no fuese posible o en áreas donde la especie ya está establecida, deben aplicarse medidas para su contención, evitando su dispersión, tanto a otros puntos de la vía, como a hábitats del entorno, y en particular a ecosistemas naturales, pastos y cultivos que pueden resultar gravemente afectados por la dispersión de EEI.

- Es imprescindible la colaboración con los agentes locales para llevar a cabo esfuerzos coordinados en el conjunto del territorio incrementando la efectividad de las medidas destinadas a eliminar los ejemplares de las especies invasoras. Las acciones individuales tienen un éxito limitado, ya

que la existencia de individuos en terrenos adyacentes permite la recolonización de la zona dada la elevada capacidad de dispersión de las EEI.

- En general, los **objetivos de las estrategias de control y gestión** tendrán los siguientes objetivos (Figura 28.1):
 - En áreas sin presencia de EEI: prevenir la introducción aplicando medidas de bioseguridad, monitoreo regular y detección temprana.
 - En áreas de reciente implantación, con poblaciones de EEI localizadas: aplicar medidas para la erradicación inmediata, así como de mantenimiento y control.
 - En áreas en las que existe alguna EEI de distribución extensa: aplicar medidas de contención para impedir su diseminación, y acciones para la erradicación inmediata, particularmente en zonas sensibles (p. ej., espacios naturales protegidos) o donde pueda suponer riesgos para la seguridad vial o la salud de las personas.
- Existe una gran variedad de métodos de control y gestión de EEI cuya elección depende de la especie objetivo y, en particular, del estado de implantación de la especie. En esta Ficha solo se mencionan algunos de ellos. Para una descripción detallada de técnicas en relación con las especies objetivo que se encuentran con mayor frecuencia en vías de transporte, se recomienda consultar el manual europeo 'IENE Biodiversity and Infrastructure' (Sección 5.8. Invasive Alien Species (IAS)), además de los documentos elaborados por el MITERD y las CCAA.

Acciones preventivas

- Las acciones preventivas tienen el objetivo de detectar las EEI lo más pronto posible, y evitar su propagación a zonas no colonizadas.

Se incluyen aquí las medidas de detección temprana, ya que contribuyen a prevenir la dispersión y el establecimiento de nuevas poblaciones. Existen acciones preventivas enfocadas a evitar nuevas entradas al territorio nacional, si bien éstas quedan fuera del objetivo de la presente Ficha.

- Las acciones de prevención y de detección temprana son las medidas más importantes y las más efectivas, ya que los esfuerzos y costes de mantenimiento aumentan considerablemente con el tiempo.
- En las **fases de planificación y proyecto** de nuevas infraestructuras, los EIA, así como los proyectos (o sus correspondientes proyectos complementarios de medidas) deberán identificar las EEI ya presentes o con alto riesgo de aparición en la zona en la que se integra el proyecto. Para ello, se recomienda consultar la cartografía disponible, tanto a nivel nacional como autonómico. Además, deben establecer las directrices a aplicar en el diseño de las restauraciones paisajísticas y los protocolos a aplicar durante la fase de obras para prevenir la introducción de EEI durante el proceso de construcción. También deberán describir los protocolos a aplicar para la detección precoz, la notificación inmediata y la aplicación de medidas para la erradicación. Esta es seguramente, la medida más efectiva y con menor coste, para contener la expansión de especies invasoras.
- Durante la **fase de construcción**, el Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) debe incluir los protocolos para la detección de las especies de mayor riesgo en la zona de proyecto. En las zonas con mayores riesgos, deberá realizarse formación y sensibilizar a los equipos de trabajo que estén sobre el terreno para que notifiquen de inmediato la detección de EEI, de manera que se puedan aplicar actuaciones para la erradicación. Además, cuando se detecten EEI debe comunicarse a la autoridad ambiental de la Comunidad Autónoma correspondiente.

Las redes de alerta creadas a nivel estatal (en base al Real Decreto 630/2013) y comunitario (en base al Reglamento 1143/2014) facilitan la coordinación entre administraciones y la centralización de la información.

- Las obras deben planificarse minimizando, en la medida de lo posible, el transporte de materiales de suelo y restableciendo la cubierta vegetal nativa lo antes posible. La existencia de suelo desnudo facilita la colonización por parte de EEI, ya que suelen ser especies que prosperan rápidamente en estos ambientes.
- En las revegetaciones se utilizarán exclusivamente especies autóctonas, de la misma región, características de hábitats del entorno y adaptadas a las condiciones locales. Siempre que sea posible, se utilizará vegetación existente en la zona antes de la construcción de la estructura.
- Las tierras provendrán también de esta zona y terrenos adyacentes, para aprovechar el banco de semillas. Antes de realizar siembras y plantaciones deberá inspeccionarse la zona para detectar la presencia de EEI. En ese caso, el suelo deberá tratarse previamente a su reutilización. Si las tierras provienen de préstamos debe asegurarse que sean de áreas libres de EEI o que hayan sido tratadas previamente para evitar la dispersión accidental de estas especies.
- En caso de detección de EEI, se aplicarán protocolos de bioseguridad, realizando limpiezas tanto a los vehículos como al equipamiento para eliminar propágulos antes de ser utilizados en otro lugar. Debe asegurarse que el agua utilizada se recoge de forma segura, evitando la potencial dispersión de propágulos.
- En la **fase de explotación** el control de las EEI debería recaer en los responsables de conservación de la vía. Los equipos de mantenimiento, y en particular los encargados del mantenimiento de zonas verdes asociadas a las vías, como sus márgenes, los pasos de fauna o los sistemas de dre-

naje, deben contar con formación y protocolos para la identificación, detección y comunicación de observación de EEI. Ello facilitará la aplicación de medidas de erradicación o de contención de la expansión. Asimismo, deberá procederse a su comunicación a la autoridad ambiental.

- En el mantenimiento de la vegetación de márgenes, y de otras zonas verdes, se aplicarán las mismas medidas descritas para la fase de construcción, procurando evitar al máximo los movimientos de tierras, que quede zonas desprovistas de vegetación y las revegetaciones con planta procedente de viveros que no garanticen condiciones de bioseguridad.

Acciones de gestión y control

- Las acciones de gestión y control deben ser definidas según la especie objetivo, ya que existen métodos que pueden ser efectivos para una especie, pero que favorezcan la dispersión de otras.
- Asimismo, la época de aplicación dependerá del ciclo anual de la especie en cuestión. En general, debe evitarse llevar a cabo actuaciones de control en los periodos reproductivos para no favorecer la dispersión de semillas o propágulos.
- En algunas ocasiones pueden combinarse distintos métodos, dependiendo de factores como el tamaño de la población, la ubicación y cercanía a espacios naturales protegidos, la presencia o no de especies amenazadas o de hábitats de interés para la conservación, etc.
- Deben fomentarse los medios mecánicos frente al uso de productos fitosanitarios de acuerdo a lo indicado por la Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios. Los márgenes y medianas generalmente facilitan la escorrentía, lo que incrementa el

riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas y de reducción de biodiversidad.

- Para poblaciones de reducido tamaño en general, es recomendable la retirada manual inmediata de los ejemplares. Dependiendo de la especie deberá prestarse especial atención a la eliminación de raíces y rizomas o al tratamiento del suelo para destruir también las semillas u otros propágulos.
- Para poblaciones de mayor tamaño deberá usarse maquinaria para su retirada. Dicha maquinaria deberá limpiarse para eliminar propágulos antes de ser utilizada en otro lugar.
- En ocasiones no es posible actuar sobre toda la población de forma uniforme. En estos casos deberá priorizarse aquellos puntos que supongan un mayor impacto para la biodiversidad local e intentar controlar la población desde la periferia hasta el centro del foco principal.
- Todos los restos vegetales retirados de la zona de actuación deben ser tratados de forma adecuada, evitando la dispersión de aquellas partes con capacidad reproductiva durante el traslado y la posibilidad de germinación o crecimiento vegetativamente en la zona en la que se deposite.
- Deben establecer monitoreos regulares de aquellas zonas en las que se han aplicado las medidas de gestión y control para detectar lo antes posible potenciales reapariciones.

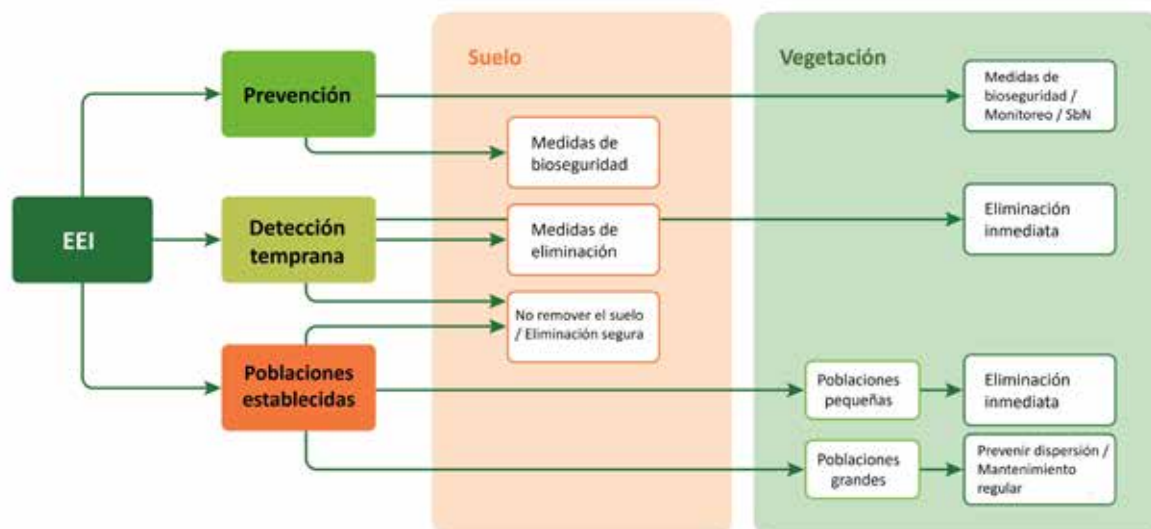


Figura 28.1. Resumen de los objetivos de las estrategias de control y gestión de Especies Exóticas Invasoras con tres niveles de intervención (prevención, detección temprana y poblaciones establecidas). Es importante destacar que también debe considerarse el tratamiento del suelo. Fuente: adaptado de BAST, 2023 ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').



Figura 28.2. Especies Exóticas Invasoras como el plumeros de la Pampa (*Cortaderia selloana*), el ailanto (*Ailanthus altissima*), la uña de gato (*Carpobrotus edulis*) o el senecio del Cabo (*Senecio inaequidens*) se expanden a lo largo de márgenes de vías de transporte. Fotos: Minuartia.



Figura 28.3. El control y erradicación de Especies Exóticas Invasoras requiere distintas técnicas adaptadas a cada especie en concreto. Entre ellas se contempla la eliminación manual, el transporte en condiciones de bioseguridad de las plantas y propágulos, o la instalación de mallas para prevenir el crecimiento de las especies de porte leñoso. Fotos: BAST ('IENE Biodiversity and Infrastructure Handbook').

Introducción

- Las poblaciones de insectos polinizadores se encuentran en declive en todo el mundo. Su importancia, tanto ecológica como económica, está ampliamente reconocida y, por ello, diversos documentos tanto internacionales como nacionales establecen medidas para favorecer su conservación.
- A nivel nacional la Estrategia Nacional para la Conservación de los Polinizadores, la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas y la Estrategia Nacional de Desfragmentación de Hábitats afectados por Infraestructuras Lineales de Transporte, destacan la importancia de mejorar los hábitats asociados a las infraestructuras de transporte para contribuir en la conservación de este grupo taxonómico.
- Aunque las vías de transporte no están consideradas entre las principales amenazas de los insectos polinizadores, tienen impactos en sus poblaciones incluyendo la mortalidad directa, causada por las colisiones con vehículos, las siegas o la aplicación de pesticidas; la mortalidad indirecta, debido a la contaminación del agua o plantas nutricias; y el efecto barrera. Los hábitats vinculados a vías de transporte pueden convertirse, además, en trampas ecológicas para los polinizadores, atrayéndolos a lugares con menores tasas de supervivencia y reproducción que en otros hábitats del entorno.
- Por otro lado, existe también evidencia sobre potenciales beneficios que la mejora de los hábitats asociados a las infraestructuras de transporte (especialmente en vías con baja intensidad de tráfico) pueden suponer tanto para estos insectos como para los hábitats circundantes. Pueden ser una fuente de recursos florísticos en paisajes homogéneos, como los que albergan monocultivos,



J. Colomer

así como corredores para facilitar la conectividad entre fragmentos de hábitats adecuados para estas especies. El fomento de especies nutricias para polinizadores amenazados, también puede contribuir a su conservación.

- En esta Ficha se incluyen medidas para favorecer la conservación de polinizadores en zonas adecuadas de los terrenos de dominio público asociadas a vías de transporte. Se trata en general de gestionar los márgenes de vías favoreciendo plantas nutricias y facilitando refugios para polinizadores, así como de reducir la contaminación generada por el tráfico y la propia gestión de la vegetación (p.ej. por aporte de pesticidas). También se trata de fomentar la conexión entre los hábitats de márgenes de vías, los pasos de fauna y los hábitats de los paisajes circundantes para favorecer la conectividad ecológica.
- El diseño de estas medidas siempre debe considerar el balance de impactos positivos y negativos en términos globales ya que, si bien estas medidas pueden aumentar la mortalidad, sus beneficios, tanto para las especies implicadas como para el resto de la biodiversidad, pueden ser mayores.

Maximizar los beneficios de las medidas aplicadas depende de diversos factores, como el paisaje por el que discurre la infraestructura o las especies presentes en la zona.

Por tanto, es necesario evaluar cada caso de forma específica para definir la solución más idónea.

Medidas para favorecer a los insectos polinizadores

- En las áreas prioritarias para la conservación de las especies más amenazadas de insectos polinizadores se recomienda implementar las medidas de gestión de márgenes que se detallan a continuación, que además, también pueden ser implementadas en otras zonas como áreas de descanso e instalaciones auxiliares.
- La gestión adecuada de los márgenes de carretera y otros hábitats asociados a las infraestructuras de transporte pueden proporcionar beneficios significativos a los polinizadores, pero también presenta riesgos que deben ser mitigados mediante prácticas de gestión cuidadosas.
- Se recomienda la realización de desbroces y siegas en una franja de entre 1,5-3 m, a partir de la arista exterior de la plataforma reduciendo la exposición de los polinizadores a los vehículos y a los productos tóxicos derivados del tráfico. En aquellos márgenes de vías suficientemente extensos, la complejidad de los hábitats puede aumentar a medida que se aleja de la plataforma de circulación, incluyendo zonas naturalizadas en los sectores más alejados del tráfico. Esta configuración contribuye también a reducir el riesgo de atropellos de fauna (véanse Fichas 22 y 26) y de propagación de incendios forestales.
- La generación de hábitats heterogéneos favorece la presencia de distintos grupos de polinizadores. Dependiendo de las condiciones locales (climatológicas, topográficas, etc.), de las especies existentes y de los usos del entorno puede ser más recomendable fomentar un tipo de hábitat concreto.
- Se recomienda incorporar parches de hábitats con alta diversidad de flores silvestres y hierbas altas, que pueden facilitar alimento y refugio para polinizadores, tanto adultos como en fases larvarias. En general es recomendable escoger plantas que tengan un alto contenido en néctar y/o polen y sean, por tanto, una fuente de recursos alimentarios para los polinizadores disponible lo largo de todo el período de actividad. Asimismo, la incorporación de plantas de diversas familias permitirá beneficiar a un mayor número de especies de polinizadores.
- Para favorecer la nidificación de polinizadores es posible incluir suelo sin vegetación, troncos u otro tipo de refugios específicos (véase Ficha 26 para mayor detalle). Una zona idónea para ubicar estos elementos son los pasos de fauna adecuados para estos grupos y sus inmediaciones, ya que pueden contribuir a fomentar el uso de la estructura.
- Los procesos de gestión de suelos y de revegetación se realizarán aplicando protocolos que minimicen el riesgo de transporte e implantación de Especies Exóticas Invasoras (véase Ficha 28). Para ello se utilizarán principalmente materiales de la propia zona, tanto por lo que respecta a suelos, como a plantas. Estas procederán siempre que sea posible, de viveros locales que utilicen ejemplares procedentes de la propia zona, o en todo caso, con garantías absolutas de bioseguridad. Cabe considerar la posibilidad de promover actuaciones específicamente destinadas a favorecer especies de flora escasas o incluidas en el ‘Libro Rojo de la flora vascular amenazada’.
- El uso de productos fitosanitarios es una de las principales amenazas para los insectos polinizadores. Por tanto, para el mantenimiento de la vegetación en los hábitats asociados a infraestructuras de transporte

deben fomentarse los medios mecánicos (véanse Fichas 26 y 27). En áreas de especial interés para los polinizadores deberá utilizarse maquinaria diseñada o adaptada para reducir la mortalidad de insectos.

- En general, se recomienda realizar una sola siega en otoño, para facilitar que los insectos y otros pequeños animales que tengan sus hábitats en los márgenes u otras zonas vinculadas a las vías puedan encontrar refugios antes del período invernal. En tramos de concentración de accidentes con animales, se recomienda realizarla a principios de septiembre, cuando empieza el período de máxima concentración de accidentes con ungulados (véase Ficha 22). No obstante, ello puede requerir adaptación a las especies que causen los conflictos.
- En zonas con alto riesgo de incendio forestal se recomienda una segunda siega antes del verano, después de la floración de la mayor parte de especies, facilitando que, tanto plantas como invertebrados puedan completar su ciclo vital. Debe eliminarse toda vegetación muerta, o cualquier otro material inflamable limitando la posible propagación del fuego.
- Deberá evitarse realizar labores de mantenimiento durante las épocas de cría e hibernación de polinizadores.

Estructuras transversales adecuadas para conectar los hábitats de insectos polinizadores

- Las estructuras más adecuadas para favorecer la permeabilidad de la vía para insectos polinizadores son aquellas que permiten dar continuidad a los hábitats naturales y seminaturales a ambos lados de las vías. Por tanto, las estructuras más idóneas son los ecoductos y viaductos adap-

tados (Fichas 1 y 5) que cuenten con una restauración completa de hábitats.

- Los pasos superiores específicos para la fauna y los pasos superiores multifuncionales (Fichas 2 y 3) también pueden ser adecuados para muchas especies, siempre que cuenten con los acondicionamientos necesarios y, en particular, con franjas re-vegetadas y elementos de refugio.
- En cambio, los pasos inferiores en general, no son adecuados para los polinizadores ya que la falta de luz en su interior limita o impide la existencia de vegetación. No obstante, en condiciones particulares, como drenajes o pasos de corta longitud, y grandes secciones, podrían alcanzarse condiciones que permitan el crecimiento de vegetación y faciliten su uso por parte de algunas especies de polinizadores.

Introducción

- Las tortugas terrestres son especies con un alto valor de conservación, entre las que se encuentran la tortuga mediterránea (*Testudo hermanni*), catalogada 'En peligro de extinción' por el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEa), y la tortuga mora (*Testudo graeca*). Ambas especies están incluidas en el anexo IV de la Directiva Hábitats, que incluye las especies de interés comunitario que requieren una protección estricta.
- Se trata de un grupo con una especial sensibilidad a los efectos de las vías de transporte. Las principales amenazas para su conservación son la pérdida y fragmentación de los hábitats, junto con la mortalidad por atropello.



R. Campeny

Estructuras transversales adecuadas para tortugas terrestres

- Las estructuras adecuadas para facilitar el cruce de tortugas terrestres pueden ser tanto pasos específicos para la fauna como estructuras multifuncionales, y tanto superiores como inferiores a las vías (Fichas 1 a 9). Los vallados son indispensables para orientar los movimientos de las tortugas hacia los accesos a los pasos.
- La principal limitación de este grupo es su escasa capacidad para salvar obstáculos, por lo que su presencia en las entradas de las estructuras condiciona completamente su funcionalidad como paso.
- Los ecoductos y viaductos adaptados (Fichas 1 y 5) que cuenten con una restauración completa de hábitats son las estructuras más idóneas para garantizar la conexión de núcleos poblacionales de estas especies en sectores estratégicos para la conectividad.

- Los pasos inferiores para pequeños vertebrados también son adecuados para tortugas terrestres, y si por impedimentos técnicos no se pudiera alcanzar los 2 m de altura mínimos para otras especies de pequeños vertebrados, se podrán adaptar estructuras a partir de 60 cm de altura, ya que se ha constatado que los utilizan.
- Debido a la escasa capacidad de desplazamiento de las tortugas terrestres, debe garantizarse la completa integración del paso en su entorno y dar continuidad a los hábitats de mayor calidad existentes en las zonas adyacentes. Con dicha finalidad, en algunos casos será necesaria la restauración de hábitats en terrenos exteriores a la franja de dominio público de la vía.

Refuerzo del vallado para tortugas terrestres

- El cerramiento convencional para pequeños vertebrados es adecuado para impedir el acceso de tortugas terrestres a las vías (véase Ficha 15), y es importante que tenga la base enterrada, ya que se trata de especies con una elevada capacidad de excavar.

Introducción

- Los murciélagos son un grupo con un alto valor de conservación, con diversas especies catalogadas como 'Vulnerable', y una, el murciélago patudo (*Myotis capaccinii*), catalogado 'En peligro de extinción' por el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEa). Todas las especies están incluidas además en el anexo IV de la Directiva Hábitats, que incluye las especies de interés comunitario que requieren una protección estricta. Actualmente está plenamente reconocida la especial sensibilidad de los murciélagos a los efectos de las vías de transporte.
- Anteriormente se había considerado un grupo con bajo riesgo de mortalidad por colisión, ya que aparecía con baja frecuencia en estudios sobre mortalidad de fauna en carreteras. No obstante, la aplicación de métodos de muestreo adaptados para la localización de cadáveres de pequeño tamaño que pasan desapercibidos sobre el asfalto y que se degradan con rapidez, han permitido constatar que la mortalidad de murciélagos puede ser muy superior a la que se había estimado.
- El tamaño corporal, la forma de sus alas, su ecología trófica y la tipología de las llamadas de ecolocalización determinan los patrones y rutas de desplazamiento de las distintas especies. Los estudios sobre patrones de vuelo que se han llevado a cabo permiten establecer diferencias entre grupos de especies por lo que a preferencias de tipo de paso se refiere.

Estructuras transversales adecuadas para murciélagos

- Las estructuras adecuadas para facilitar el cruce de murciélagos pueden ser tanto pasos específicos para la fauna como estructuras multifuncionales, y tanto superiores como inferiores a las vías. Para facilitar su



X. Fernández

- uso tienen una importancia causal tanto las revegetaciones de las entradas de los pasos como el acondicionamiento de su superficie (si se trata de superiores) o de su interior (si se trata de inferiores).
- Los murciélagos pueden cruzar las vías sobrevolando pasos superiores, como ecoductos (Ficha 1) o pasos superiores específicos o multifuncionales (Fichas 2 y 3), pero es necesario orientar su vuelo hacia las estructuras diseñando las restauraciones de manera que se creen hileras de vegetación sobre la superficie de la estructura, a lo largo de su longitud y entre ambos accesos. Las pantallas situadas en los márgenes laterales de la estructura pueden complementar en parte la función de estos corredores de vegetación (véase Ficha 12).
- También son adecuados para el cruce de murciélagos los viaductos (Ficha 5), pasos inferiores específicos y multifuncionales (Fichas 6 a 9). Las dimensiones más adecuadas dependerán de las especies a las que van destinadas. Así, para las especies de murciélagos grandes y que acostumbran a cazar en espacios abiertos o que guían sus desplazamientos por bordes de vegetación o ecotonos, como *Eptesicus* spp. y *Nyctalus* spp., serán adecuados los pasos específicos para grandes mamíferos y los

multifuncionales (Fichas 6 y 7), con dimensiones de 7 x 3,5 m, ya que algunos estudios establecen que requieren estructuras de 6 m de ancho como mínimo. Por su parte, las especies de murciélagos pequeños y de vuelo ágil y raso, generalmente entre la vegetación, como *Rhinolophus* spp., *Myotis* spp. y *Plecotus* spp., pueden utilizar estructuras más pequeñas, como pasos inferiores para pequeños vertebrados (Ficha 8) o drenajes adaptados (Ficha 9) -ambos con sección mínima de 2 x 2 m-, ya que tienen una elevada capacidad de volar en espacios confinados.

- En algunos países se utilizan los denominados 'pórticos para murciélagos' (*bat gantries*), que no se consideran efectivos. Se trata de estructuras compuestas por diversos cables paralelos, que se anclan a dos postes situados a ambos lados de la vía y se tensan cruzando la vía a una altura superior a la de gálibo. Supuestamente ello contribuiría a orientar a los murciélagos, que sobrevolarían las vías a alturas superiores a las de los vehículos, evitando así la colisión. No obstante, diversos seguimientos indican que no son efectivos, por lo que no es recomendable su utilización. Diseños actualizados de este concepto consisten en formas tubulares sobre la vía, que pretende mejorar la ecolocalización y reducir las perturbaciones de luz y ruido. Si bien parecen ofrecer mejores resultados que los modelos básicos, aún se necesita más investigación para determinar su efectividad. En cualquier caso, dado su alto coste y especificidad, son más recomendables otros tipos de pasos de fauna que se han demostrado más efectivos y, además, son útiles también para otros grupos taxonómicos.

Pantallas para reducir la mortalidad de murciélagos

- No son adecuados para los murciélagos los cerramientos perimetrales usados habitualmente para evitar el acceso de fauna a

las plataformas de circulación de vehículos (Fichas 14 y 15).

- Por ello, si en algún tramo, a causa de sus condiciones particulares, como la proximidad a refugios que albergan grandes colonias o la intercepción de rutas de desplazamiento habitual, se considera necesario instalar un vallado para murciélagos con el objeto de reducir el riesgo de mortalidad por colisión con vehículos o ferrocarriles, hay que recurrir a una tipología particular de cerramiento (véase Ficha 15).

Otros aspectos a considerar

- Para ubicar adecuadamente las estructuras de paso para murciélagos, serán necesarios estudios previos para identificar las rutas de desplazamiento o migración preferentes de las especies existentes en el paisaje por donde discurre la vía.
- Para favorecer que los murciélagos utilicen los pasos, estos deberán integrarse adecuadamente en la matriz paisajística de su entorno. Con ese objetivo, las revegetaciones de sus accesos deberán diseñarse de manera que se creen corredores de vegetación que los conecten con las teselas de vegetación presentes en su entorno, ya que muchas especies de este grupo utilizan estructuras lineales naturales como elementos de orientación que canalizan sus rutas de desplazamiento a través de la matriz territorial.
- En el caso de viaductos y drenajes adaptados por los que discurre un curso fluvial o vía de agua, su funcionalidad se verá favorecida por el hecho de que los cursos de agua y la vegetación de ribera asociada actúan como elementos lineales naturales canalizadores del vuelo de algunas especies de murciélagos, como *Myotis daubentonii* y *Myotis capaccinii*.
- Las estructuras inferiores a las vías (viaductos, pasos inferiores específicos o multifuncionales y drenajes adaptados) pueden contribuir a la conservación de algunas

especies de murciélagos, ya que ofrecen refugio en el interior de grietas y fisuras. Algunos estudios apuntan que las fisuras deben tener una anchura de entre 1,5 y 2 cm para constituir un óptimo refugio para murciélagos fisurícolas. La presencia de refugios (que también podrían ser cajas artificiales) puede atraer los murciélagos al interior de la estructura, reforzando a su vez su función canalizadora de desplazamientos.

- La instalación de cajas u otros tipos de refugios para murciélagos, así como la creación o restauración de zonas de alimentación, como charcas o prados, en las proximidades de las entradas de los pasos puede contribuir a la conservación de sus poblaciones y a atenuar los impactos de las carreteras.
- Debe evitarse la iluminación de la vía en las proximidades de estructuras destinadas al paso de murciélagos y en sus entradas. La presencia de iluminación puede disuadir del paso de la mayoría de especies de murciélagos, mientras que en caso de que se trate de lámparas de mercurio, que atraen a insectos y con ello a murciélagos que intentan capturarlos, puede conllevar un incremento del riesgo de mortalidad de especies que habitualmente se alimentan cerca de puntos de luz artificial (como *Pipistrellus* spp.).

Introducción

- Los mustélidos semiacuáticos son un grupo con un alto valor de conservación, en el que destaca el visón europeo (*Mustela lutreola*), 'En peligro de extinción' a nivel mundial, y la nutria (*Lutra lutra*), ambas especies incluidas además en el anexo IV de la Directiva Hábitats, que incluye las especies de interés comunitario que requieren una protección estricta. Forma parte también de este grupo el turón (*Mustela putorius*), especie en regresión en determinadas regiones de España.
- Se trata de un grupo con una especial sensibilidad a los efectos de las vías de transporte, siendo los atropellos la primera causa de mortalidad de origen antrópico para estas especies. En el caso del visón europeo, se ha estimado que los atropellos suponen entre el 60 y el 90% de la mortalidad no natural (según las regiones).
- Son especies ligadas a ambientes acuáticos, cursos fluviales y ecosistemas riparios, que con frecuencia son víctimas de atropello en los puntos donde las carreteras interceptan elementos de la red fluvial y de drenaje (ríos, arroyos, canales, acequias, etc.). Esto se debe a que al desplazarse siguiendo la vegetación de los márgenes de los cursos de agua, generalmente no intentan cruzar a nado cuando llegan a un drenaje completamente inundado, sino que acceden a las calzadas para intentar cruzar por ellas.
- Para reducir la mortalidad por esta causa, deben adaptarse los drenajes de manera que dispongan de banquetas laterales situadas por encima del nivel de las aguas por donde los animales puedan desplazarse, así como un diseño de las revegetaciones en sus accesos que los guíen hacia su interior.



A. Gómez

Estructuras transversales adecuadas para mustélidos semiacuáticos

- Los viaductos adaptados son la tipología óptima en sectores donde la vía atraviesa cursos fluviales o vaguadas de mayor entidad, ya que permiten conservar los hábitats acuáticos y riparios (véase Ficha 5). En cualquier caso, tiene una importancia caudal que se conserve la morfología de los márgenes y la continuidad de la vegetación de ribera, y que se mantengan franjas secas a ambos lados, incluso en la época de crecidas.
- La adaptación de drenajes (véase Ficha 9) puede ser una solución con una óptima relación coste-efectividad en el resto de situaciones. Para su adaptación al paso de fauna se seleccionarán drenajes con una sección mínima de 2 x 2 m. En el caso de proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento, puede considerarse la adaptación de drenajes de 1 x 1 m solo en el caso que vayan destinados a mustélidos (tejón, nutria, etc.).
- La adaptación consistirá básicamente en la creación de dos franjas laterales (una a cada lado de la estructura y con una anchura mínima de 0,5 m), que se mantengan secas, incluso en los períodos de mayor caudal, y

que tengan una adecuada conexión de sus accesos con el entorno del paso. Para ello puede recurrirse a la construcción de dos plataformas o banquetas laterales de hormigón (véase Ficha 9) o la instalación de plataformas elevadas ancladas a las paredes o a la parte superior de la estructura (Figuras 9.5 y 9.6).

- En zonas donde los cursos fluviales experimentan períodos prolongados de crecidas, las banquetas laterales deberán construirse en forma de escalones, con el objetivo que estén funcionales y se adapten a las variaciones de la lámina de inundación (Figura 9.2).
- Es indispensable que estas franjas laterales secas estén adecuadamente conectadas con el entorno del paso en ambos márgenes. Si se encuentran a distinto nivel del terreno deberán construirse rampas de acceso que conecten el interior del paso con los márgenes del curso o vía de agua. Además, es necesario conservar franjas continuas de vegetación riparia que conduzcan a los animales directamente a los accesos al drenaje adaptado (Figuras 9.3 y 12.4).
- En el caso de proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento, en los que se requiera la adaptación de drenajes que puedan quedar totalmente inundados, podrán incorporarse dos tubos secos de diámetro reducido (hasta 40 cm) a ambos lados de la estructura y en su parte superior.

Medidas para evitar el acceso de mustélidos semiacuáticos a la carretera

- Los cerramientos perimetrales usados habitualmente para evitar el acceso de pequeños vertebrados a las plataformas de circulación de vehículos pueden no ser adecuados para los mustélidos semiacuáticos.

En tramos que se prevean especialmente conflictivos se deben aplicar cerramientos específicos para visón europeo o nutria, según convenga (véase Ficha 15).

- En infraestructuras sin vallado perimetral, se deberá evitar la existencia de vegetación arbustiva o lianas que conecten los accesos al paso de fauna con los márgenes de la plataforma de circulación de vehículos (véase Ficha 12), para evitar que estas manchas de vegetación conduzcan a los animales hacia sectores con probabilidad de atropello.

Introducción

- El oso pardo (*Ursus arctos*) es una especie catalogada 'En peligro de extinción' por el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEAA) e incluida en el anexo IV de la Directiva hábitats, que incluye las especies de interés comunitario que requieren una protección estricta. La fragmentación de los hábitats y el efecto barrera generado por las infraestructuras lineales de transporte se encuentran entre las amenazas para la conservación de la especie en España.
- Las recomendaciones que se indican en esta Ficha están basadas en proyectos sobre osos y carreteras llevadas a cabo en países del sur de Europa, fundamentalmente Grecia, Bulgaria, Rumania y, en menor medida, España. Se consideran también las recomendaciones prescritas en Norteamérica para osos grizzlies dada la abundante evidencia empírica existente. Cabe destacar, no obstante, que existen importantes diferencias en cuanto a la ecoetología de ambas subespecies, y, sobre todo, la disponibilidad y extensión de los hábitats sin perturbación de origen antrópico es distinta en ambos contextos.
- Un factor determinante para la utilización de los pasos de fauna por el oso es la calidad del hábitat en el entorno de las estructuras y su conexión con hábitats de interés para la conectividad, hecho que se ha puesto de manifiesto en estudios tanto en Europa como en Norteamérica.
- La correcta ubicación de los pasos es un aspecto determinante para facilitar su utilización por parte de los osos, sobre todo en zonas donde los hábitats presentan un elevado grado de fragmentación y humanización.



Fundación Oso Pardo

Estructuras transversales adecuadas para oso pardo

- En tramos de vías que cruzan corredores ecológicos de interés estratégico para la conectividad entre núcleos de población y en los corredores de desplazamiento habitual para la especie, los ecoductos y viaductos son las tipologías recomendadas, ya que permiten la conexión completa de los hábitats (véanse Fichas 1 y 5). También son adecuados en estos puntos los pasos específicos para la fauna, especialmente si alcanzan las dimensiones óptimas para grandes mamíferos (40-50 m de ancho si se trata de superiores y 15 x 3,5 m en los inferiores; Fichas 2 y 6).
- En otros sectores de las vías, y en particular en carreteras y ferrocarriles que discurren por paisajes humanizados, también pueden disponerse pasos específicos que cumplan con las dimensiones mínimas (20 m para los superiores y 7 x 3,5 m para los inferiores) y pasos multifuncionales (tanto superiores como inferiores), ya que el oso pardo es una especie de comportamiento adaptable, y se ha verificado el uso de este tipo de estructuras, en Grecia, Rumanía, y también en España. En este caso los pasos deberán alcanzar las dimensiones mínimas que se recomiendan para grandes mamíferos (10 m de ancho en pasos superiores y 7 x 3,5 m en los inferiores; Fichas 3 y 7), aunque se ha detectado el uso esporádico

de pasos de menores dimensiones.

- En todos los casos, se realizarán plantaciones en los accesos de los pasos, y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a los osos hacia las entradas del paso (Ficha 12). Las restauraciones de los accesos de la estructura deberán diseñarse de manera que faciliten la conexión de los hábitats adecuados presentes en su entorno con las entradas del paso.
- En proyectos de desfragmentación, la eliminación de obstáculos en estructuras existentes se ha mostrado especialmente efectiva para incrementar su uso por parte del oso pardo.

Vallado específico para osos

- Los cerramientos convencionales para grandes mamíferos (Ficha 14) pueden no ser suficientes para impedir el acceso de esta especie a las vías. Normalmente los osos sobrepasan las mallas aplastándolas por la parte superior (especialmente cuando las mallas no cuentan con la suficiente tensión), o acceden a las plataformas por desajustes existentes entre estas y las alas de estructuras transversales.
- En tramos que se prevean especialmente conflictivos se deben aplicar cerramientos específicos para oso (véase Ficha 14).

Introducción

- El lince ibérico (*Lynx pardinus*) es una especie endémica de la península Ibérica, catalogada 'En peligro de extinción' a nivel mundial e incluida en el anexo IV de la Directiva hábitats, que incluye las especies de interés comunitario que requieren una protección estricta.
- Se trata de una especie con particular vulnerabilidad a los efectos de las vías de transporte, siendo los atropellos una de las mayores amenazas para su conservación, y la primera causa de mortalidad de origen antrópico de los lince ibéricos.



Proyecto LIFE+ Iberlynce

Estructuras transversales adecuadas para lince ibérico

- En tramos de vías que cruzan corredores ecológicos de interés estratégico para la conectividad entre núcleos de población, y en los corredores de desplazamiento habitual para la especie, los ecoductos y viaductos son las tipologías recomendadas, ya que permiten la conexión completa de los hábitats (véanse Fichas 1 y 5). También pueden ser adecuados en estos puntos los pasos específicos para la fauna, que alcancen las dimensiones óptimas para grandes mamíferos (40-50 m de ancho si se trata de superiores y 15 x 3,5 m en los inferiores; Fichas 2 y 6).
- En otros sectores de las vías, y en particular en carreteras y ferrocarriles que discurren por paisajes humanizados, también pueden incorporarse a los proyectos pasos específicos que cumplan con las dimensiones mínimas (20 m para los superiores y 7 x 3,5 m para los inferiores) y pasos multifuncionales (tanto superiores como inferiores). En este caso las estructuras deberán alcanzar las dimensiones que se recomiendan para grandes mamíferos (10 m de ancho en pasos superiores y 7 x 3,5 m en los inferiores; Fichas 3 y 7).
- La especie también se ha detectado utilizando drenajes adaptados (véase Ficha 9), por lo cual este tipo de estructuras también pueden ser adecuadas si cuentan con un adecuado acondicionamiento. En estos casos será indispensable un adecuado mantenimiento que evite su colmatación, o la presencia de piedras, troncos u otros elementos que puedan dificultar el paso de fauna.
- En el caso de proyectos de desfragmentación de vías, cuando se requiera facilitar puntos de cruce seguros en vía en funcionamiento, puede considerarse la adaptación de drenajes de hasta un mínimo de 4 x 1,5 m. Estas prescripciones siguen las directrices establecidas por los equipos de seguimiento de la especie, que han constatado que es capaz de utilizar drenajes de pequeñas dimensiones en las vías de su área de distribución. Por ello, cuando se adaptan pasos en vías ya existentes, excepcionalmente podrán considerarse dimensiones inferiores a las prescritas, siempre que el paso tenga una óptima ubicación. En general, los casos en los que se contemplan la reducción respecto a las dimensiones mínimas establecidas deberán respaldarse con estudios que justifiquen su idoneidad.
- Se realizarán plantaciones en los accesos de la estructura y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a los lince hacia las entradas del paso, sin dejar

huecos por donde puedan acceder a zonas de riesgo (Ficha 12). Las revegetaciones de los accesos deberán diseñarse de manera que conecten con los hábitats adecuados presentes en su entorno. Con dicha finalidad, en algunos casos será necesaria la restauración de hábitats en terrenos exteriores a la franja de dominio público de la vía, como elementos estratégicos de la denominada infraestructura verde.

Gestión de la vegetación en áreas asociadas a carreteras y ferrocarriles

Una de las causas que aumenta el riesgo de atropello del lince es la presencia de altas densidades de conejo en los márgenes de las vías. Estas zonas, donde la abundancia de alimento atrae al lince hacia zonas con alto riesgo de mortalidad se denominan 'sumideros tróficos'. Por ello, el diseño y mantenimiento de los hábitats asociados a infraestructuras es sumamente importante en las áreas de distribución del lince ibérico.

- Los cerramientos perimetrales asociados a infraestructuras viarias generan zonas de exclusión para la fauna, como glorietas, taludes y márgenes amplios de la vía. Estas áreas, en ocasiones, son colonizadas por el conejo, lo que atrae a los lince en busca de alimento, incrementando su riesgo de atropello. Por tanto, se debe evitar la creación de sumideros tróficos para el lince mediante el control y diseño adecuado de estos espacios.
- En vías convencionales sin cerramiento particular, se recomienda realizar desbroces frecuentes para mantener una franja sin vegetación arbustiva que no facilite refugio a los animales y que permita una buena visibilidad (véase Ficha 22). Particularmente en los tramos de concentración de atropellos de lince en los márgenes de la carretera es necesario crear franjas desprovistas de

refugios y puntos de acecho de 10-15 m de anchura entre el monte y la vía.

Vallados y otras medidas para evitar el acceso de lince a la carretera

- Los cerramientos convencionales para grandes mamíferos pueden no ser suficientes para impedir el acceso de lince a las vías, ya que a la facilidad de trepar se suma su extraordinaria capacidad para el salto, por lo que en tramos que se prevean especialmente conflictivos se deben aplicar cerramientos específicos para lince ibérico (véase Ficha 14).
- Por otra parte, en toda el área de distribución de la especie y especialmente en áreas con territorios ocupados o de interés para la conectividad, es importante aplicar medidas para reducir la proliferación de conejos en los márgenes de las vías, ya que estos constituyen importantes focos de atracción para los lince, aumentando su riesgo de mortalidad por atropello. Véanse recomendaciones sobre gestión de márgenes en las Fichas 22 y 26.
- En vías sin cerramiento perimetral se han implementado nuevas tecnologías como la instalación de postes que incluyen elementos disuasivos visuales y sonoros (denominados 'vallado virtual') y señales activadas por sensores de fauna (Fichas 19 y 20). Los resultados de seguimientos llevados a cabo en Andalucía aportan reducción del número de atropellos de lince en las zonas donde se han instalado si bien, se trata de seguimientos puntuales y es necesario disponer de más datos para evaluar la efectividad de estas medidas para el lince ibérico, a medio y largo plazo.

4

Anexo

1

Presentación

2

Aspectos generales y
marco de referencia

3

Catálogo de medidas y
prescripciones técnicas
para su aplicación

4

Anexo

Bibliografía consultada

Para una información más detallada sobre las medidas y sobre el mantenimiento de las mismas pueden consultarse los capítulos 5 (Solutions to mitigate impacts and benefit nature), y 7 (Maintenance) del manual europeo IENE Biodiversity and Infrastructure. A handbook for action <https://www.biodiversityinfrastructure.org/>

- Altringham, J. D., Berthinussen, A., & Wordley, C. F. R. (2020). Generating, collating and using evidence for conservation. In: W. J. Sutherland, P. N. M. Brotherton, Z. G. Davies, N. Ockendon, N. Pettorelli, & J. A. Vickery (Eds.), *Conservation Research, Policy and Practice* (1st ed., pp. 48–62). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108638210.004>
- ANIMEX. (2021). The Wildlife Fencing Guide: Amphibians, Reptiles & Small Mammals. <https://www.wildlifefencing.com/>
- Ascensão, F., Clevenger, A., Santos-Reis, M., Urbano, P., & Jackson, N. (2013). Wildlife-vehicle collision mitigation: Is partial fencing the answer? An agent-based model approach. *Ecological Modelling*, 257, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.02.026>
- Ascensão, F., & Mira, A. (2007). Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecological Research*, 22(1), 57–66. <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0004-1>
- Babińska-Werka, J., Krauze-Gryz, D., Wasilewski, M., & Jasińska, K. (2015). Effectiveness of an acoustic wildlife warning device using natural calls to reduce the risk of train collisions with animals. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 38, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.021>
- Bain, T. (2014). Evaluating the effect of moisture in wildlife crossing tunnels on the migration of the California tiger salamander, *Ambystoma californiense*. <http://scholarworks.calstate.edu/handle/10211.3/123759>
- Barré, K., Spoelstra, K., Bas, Y., Challéat, S., Kiri Ing, R., Azam, C., Zissis, G., Lapostolle, D., Kerbirou, C., & Le Viol, I. (2021). Artificial light may change flight patterns of bats near bridges along urban waterways. *Animal Conservation*, 24(2), 259–267. <https://doi.org/10.1111/acv.12635>
- Barrueto, M., Ford, A. & Clevenger, A.P. (2014). Anthropogenic effects on activity patterns of wildlife at crossing structures. *Ecosphere*, 5(3), pp.1–19. <https://doi.org/10.1890/ES13-00382.1>
- Barthelmess, E. L. (2014). Spatial distribution of road-kills and factors influencing road mortality for mammals in Northern New York State. *Biodiversity and Conservation*, 23(10), 2491–2514. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0734-2>
- Baudoin, J. M, Burgun, V, Chanseau, M, Lari-nier, M, Ovidio, M, Sremski, W, Steinbach, P, & Voegtli, B. (2014). *Assessing the passage of obstacles by fish. Concepts, design and application*. Onema.
- Benten, A., Annighöfer, P., & Vor, T. (2018a). Wildlife Warning Reflectors' Potential to Mitigate Wildlife-Vehicle Collisions—A Review on the Evaluation Methods. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 37. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00037>
- Benten, A, Balkenhol, N, Vor, T, & Ammer, C. (2019). Wildlife warning reflectors do not alter the behavior of ungulates to reduce the risk of wildlife-vehicle collisions. *European Journal of Wildlife Research*, 65(5), 76. <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1312-4>
- Benten, A, Hothorn, T, Vor, T, & Ammer, C. (2018b). Wildlife warning reflectors do not mitigate wildlife-vehicle collisions on roads. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.08.003>

- Berndt, C. V. (2021). Behavioural responses of ungulates to sound systems – Can simulated risk influence behaviour? Swedish University of Agricultural Sciences.
- Berthinussen, A., & Altringham, J. (2012). Do Bat Gantries and Underpasses Help Bats Cross Roads Safely? *PLoS ONE*, 7(6), e38775. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038775>
- Berthinussen, A & Altringham, J. (2015). Development of a cost-effective method for monitoring the effectiveness of mitigation for bats crossing linear transport infrastructure (WC1060). Department for Environment Food and Rural Affairs, UK. <https://science.gov.uk/ProjectDetails?ProjectID=18518>
- Bhardwaj, M., Erixon, F., Holmberg, I., Seiler, A., Håkansson, E., Elfström, M., & Olsson, M. (2022). Ungulate use of an at-grade fauna passage and roadside animal detection system: A pilot study from Southern Sweden. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 991551. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.991551>
- Bhardwaj, M., Olsson, M., & Seiler, A. (2020). Ungulate use of non-wildlife underpasses. *Journal of Environmental Management*, 273, 111095. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111095>
- Bhardwaj, M., Soanes, K., Lahoz-Monfort, J. J., Lumsden, L. F., & van der Ree, R. (2020). Artificial lighting reduces the effectiveness of wildlife-crossing structures for insectivorous bats. *Journal of Environmental Management*, 262, 110313. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110313>
- Biedenweg, T. A., Parsons, M. H., Fleming, P. A., & Blumstein, D. T. (2011). Sounds Scary? Lack of Habituation following the Presentation of Novel Sounds. *PLoS ONE*, 6(1), e14549. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014549>
- Biot, H., Campera, M., Imron, M. A., & Nekaris, K. A. I. (2020). Artificial canopy bridges improve connectivity in fragmented landscapes: The case of Javan slow lorises in an agroforest environment. *American Journal of Primatology*, 82(4), e23076. <https://doi.org/10.1002/ajp.23076>
- Blazquez-Cabrera, S., Gastón, A., Beier, P., Garrrote, G., Simón, M. Á., & Saura, S. (2016). Influence of separating home range and dispersal movements on characterizing corridors and effective distances. *Landscape Ecology*, 31(10), 2355–2366. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0407-5>
- Bliss-Ketchum, L. L., De Rivera, C. E., Turner, B. C., & Weisbaum, D. M. (2016). The effect of artificial light on wildlife use of a passage structure. *Biological Conservation*, 199, 25–28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.04.025>
- Borda-de-Água, L., Barrientos, R., Beja, P., & Pereira, H. M. (2017). *Railway Ecology*, (1st ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7>
- Brieger, F., Hagen, R., Kröschel, M., Hartig, F., Petersen, I., Ortmann, S., & Suchant, R. (2017). Do roe deer react to wildlife warning reflectors? A test combining a controlled experiment with field observations. *European Journal of Wildlife Research*, 63(5), 72. <https://doi.org/10.1007/s10344-017-1130-5>
- Brieger, F., Hagen, R., Vetter, D., Dormann, C. F., & Storch, I. (2016). Effectiveness of light-reflecting devices: A systematic reanalysis of animal-vehicle collision data. *Accident Analysis & Prevention*, 97, 242–260. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.030>
- Brieger, F., Schmöser, H., Strein, M., Reck, H., & Winter, A. (2021). *Wirtschaftliche Randbedingungen für die Herstellung und die Unterhaltung von Wildschutzmaßnahmen an Bundesfernstraßen sowie bundesweite. Evaluation und Analyse von Wildunfalldaten*. Herausgeber: BMDV, Fachverlag NW. Heft 1138. 132 S.

- Budzik, K., & Budzik, K. (2014). A preliminary report of amphibian mortality patterns on railways. *Acta Herpetologica*, 9(1), 103-107. https://doi.org/10.13128/ACTA_HERPETOL-12914
- Carey, C., O'Brien, E., Wansink, D., Corrigan, C., 2016. Cost Efficient Road Management Procedures for the Design of Roads in Harmony with Wildlife Harmony. Maintenance Handbook. CEDR Call 2013: *Roads and Wildlife*. 56 pp.
- CEREMA. (2023). *Fauna passages. Maintaining and restoring the ecological network, with linear transport infrastructure*. Bron: Cerema, (2023). Series: references. ISBN: 978-2-37180-610-8
- CEREMA. (2021). Les passages à faune. Préserver et restaurer les continuités écologiques, avec les infrastructures linéaires de transport. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/passages-faune-guide-complet-du-cerema-creer-entretenir>
- Challéat, S., Barré, K., Laforge, A., Lapostolle, D., Franchomme, M., Sirami, C., Le Viol, I., Milian, J., & Kerbiriou, C. (2021). Grasping darkness: The dark ecological network as a social-ecological framework to limit the impacts of light pollution on biodiversity. *Ecology and Society*, 26(1), art15. <https://doi.org/10.5751/ES-12156-260115>
- Claireau, F., Bas, Y., Puechmaille, S. J., Julien, J., Allegrini, B., & Kerbiriou, C. (2019). Bat overpasses: An insufficient solution to restore habitat connectivity across roads. *Journal of Applied Ecology*, 56(3), 573-584. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13288>
- Clevenger, A. P., & Sawaya, M. A. (2010). Piloting a Non-Invasive Genetic Sampling Method for Evaluating Population-Level Benefits of Wildlife Crossing Structures. *Ecology and Society*, 15(1), art7. <https://doi.org/10.5751/ES-03248-150107>
- Clevenger, A. P., & Waltho, N. (2005). Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation*, 121(3), 453-464. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.04.025>
- Clevenger, A. P., & Huijser, M. (2011). *Wildlife crossing structure handbook. Design and evaluation in North America* (Technical Report No. FHWA-CFL/TD-11-003). Western Transportation Institute.
- Closs, G. P., Krkosek, M., & Olden, J. D. (2015). *Conservation of Freshwater Fishes* (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139627085>
- Conan, A., Fleitz, J., Garnier, L., Le Brishoual, M., Handrich, Y., & Jumeau, J. (2022). Effectiveness of wire netting fences to prevent animal access to road infrastructures: An experimental study on small mammals and amphibians. *Nature Conservation*, 47, 271-281. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.71472>
- Coulson, G., & Bender, H. (2020). Roadkill mitigation is paved with good intentions: A critique of Fox et al., (2019). *Australian Mammalogy*, 42(1), 122. <https://doi.org/10.1071/AM19009>
- D'Angelo, G. J., D'Angelo, J. G., Gallagher, G. R., Osborn, D. A., Miller, K. V., & Warren, R. J. (2006). Evaluation of Wildlife Warning Reflectors for Altering White-Tailed Deer Behavior Along Roadways. *Wildlife Society Bulletin*, 34(4), 1175-1183. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[1175:EOWWRF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[1175:EOWWRF]2.0.CO;2)
- D'Angelo, G., & van der Ree, R. (2015). Use of Reflectors and Auditory Deterrents to Prevent Wildlife-Vehicle Collisions. In: R. Van Der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo (Eds.), *Handbook of Road Ecology* (1st ed., pp. 213-218). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch25>

- Das, J., Biswas, J., Bhattacharjee, P. C., & Rao, S. S. (2009). Canopy Bridges: An Effective Conservation Tactic for Supporting Gibbon Populations in Forest Fragments. In: D. Whitaker & S. Lappan (Eds.), *The Gibbons* (pp. 467–475). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-88604-6_22
- Degen, T., Mitesser, O., Perkin, E. K., Weiß, N., Oehlert, M., Mattig, E., & Hölker, F. (2016). Street lighting: Sex independent impacts on moth movement. *Journal of Animal Ecology*, 85(5), 1352–1360. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12540>
- Denneboom, D., Bar-Massada, A., & Schwartz, A. (2021). Factors affecting usage of crossing structures by wildlife – A systematic review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 777, 146061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146061>
- Dirección General de Tráfico. (2024). Siniestralidad vial con implicación de animales. Asociación Española de la Carretera. 124 pp. + Anexos. https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/conoce_la_dgt/conocimiento-e-investigacion/Siniestralidad_vial_con_implicacion_de_animales.pdf
- Dwyer, J. F., Harness, R. E., & Eccleston, D. (2017). Avian Electrocutions on Incorrectly Retrofitted Power Poles. *Journal of Raptor Research*, 51(3), 293–304. <https://doi.org/10.3356/JRR-16-93.1>
- Elmeros, M., Winbladh, J. K., Andersen, P. N., Madsen, A. B., & Christensen, J. T. (2011). Effectiveness of odour repellents on red deer (*Cervus elaphus*) and roe deer (*Capreolus capreolus*): A field test. *European Journal of Wildlife Research*, 57(6), 1223–1226. <https://doi.org/10.1007/s10344-011-0517-y>
- Englefield, B., Candy, S. G., Starling, M., & McGreevy, P. D. (2019). A Trial of a Solar-Powered, Cooperative Sensor/Actuator, Opto-Acoustical, Virtual Road-Fence to Mitigate Roadkill in Tasmania, Australia. *Animals*, 9(10), 752. <https://doi.org/10.3390/ani9100752>
- Falcón, J., Torriglia, A., Attia, D., Viénot, F., Gronfier, C., Behar-Cohen, F., Martinsons, C., & Hicks, D. (2020). Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 602796. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796>
- Found, R., & Boyce, M. S. (2011). Warning signs mitigate deer–vehicle collisions in an Urban area. *Wildlife Society Bulletin*, 35(3), 291–295. <https://doi.org/10.1002/wsb.12>
- Fox, S., Potts, J. M., Pemberton, D., & Crosswell, D. (2019). Roadkill mitigation: Trialing virtual fence devices on the west coast of Tasmania. *Australian Mammalogy*, 41(2), 205. <https://doi.org/10.1071/AM18012>
- Gagnon, J. E., Raskin, M., Remache, J., & Sack, B. P. (2010). Large-Scale Asset Purchases by the Federal Reserve: Did They Work? *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1576596>
- Greenham, S., Workman, R., Ferranti, E., McPherson, K., Quinn, A., Street, R., Dora, J., Fisher, R., Mills, S., Packham, K., Baxter, W., & Roberts, C. (2022). Climate-Resilient Transport: A policy guide for low-income countries in Africa and South Asia. Prepared by the University of Birmingham and TRL, UK. February 2022.
- Hamer, A. J., Langton, T. E. S., & Lesbarrères, D. (2015). Making a Safe Leap Forward: Mitigating Road Impacts on Amphibians. In: R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo (Eds.), *Handbook of Road Ecology* (1st ed., pp. 261–270). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch31>
- Helldin, J. O., & Petrovan, S. O. (2019). Effectiveness of small road tunnels and fences in reducing amphibian roadkill and barrier effects at retrofitted roads in Sweden. *PeerJ*, 7, e7518. <https://doi.org/10.7717/peerj.7518>

- Hill, I. D. C., Rossi, C. A., Petrovan, S. O., Hartup, M., Clark, F., & Downie, J. R. (2018). Mitigating the effects of a road on amphibian migrations: A Scottish case study of road tunnels. *The Glasgow Naturalist*, 27(Supplement), 25–36. <https://doi.org/10.37208/tg-n27s06>
- Hlaváč, V., Anděl, P., Větrovcová, J., Dostál, I., & Strnad, M. (2019). Wildlife and traffic in the Carpathians. Guidelines how to minimize impact of transport infrastructure development on nature in the Carpathian countries (TRANSGREEN Project, The State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Banská Bystrica). Danube Transnational Programme. https://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/35/02caaaf3c1c1365f76574e754ddbd-c4e1af4a7a.pdf
- Hotchkiss, R.H. & Frei, C.M. (2007). *Design for Fish Passage at Roadway-Stream Crossings: Synthesis Report* (FHWA-HIF 07-033). Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/07033/07033.pdf>
- Huijser, M. P., Fairbank, E. R., Camel-Means, W., Graham, J., Watson, V., Basting, P., & Becker, D. (2016). Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife-vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals. *Biological Conservation*, 197, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.02.002>
- Hussain, Q., Alhajyaseen, W.K.M., Reinolmann, N., Brijs, K., Pirdavani, A. Wets, G., & Brijs, T. (2021). Optical pavement treatments and their impact on speed and lateral position at transition zones: A driving simulator study, *Accident Analysis & Prevention*, 150, 105916. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105916>
- Iuell, B., Bekker, G.J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hick, C., Hlaváč, H., Keller, V., Rosell, C., Sangwine, T. Torslov, N., & Wandall, B. (2003). *Wildlife and Traffic. A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. KNNV Publishers. <https://handbookwildlifetraffic.info/>
- Jaeger, J. A. G. & Re, S. (2021). Wildlife fencing, the FLOMS trade-off, and the fence-end effect: How long is long enough? (ICOET 2021 International Conference). <https://www.icoet.net/2021/program/presentations/153>
- Jarvis, L. E., Hartup, M., & Petrovan, S. O. (2019). Road mitigation using tunnels and fences promotes site connectivity and population expansion for a protected amphibian. *European Journal of Wildlife Research*, 65(2), 27. <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1263-9>
- Jochimsen, D. M., Peterson, C. R., Andrews, K. M., & Gibbons, J. W. (2004). *Literature Review of the Effects of Roads on Amphibians and Reptiles*. Idaho State University. <https://idfg.idaho.gov/old-web/docs/wildlife/collisionAmphibRep.pdf>
- Kämmerle, J.-L., Brieger, F., Kröschel, M., Hagen, R., Storch, I., & Suchant, R. (2017). Temporal patterns in road crossing behaviour in roe deer (*Capreolus capreolus*) at sites with wildlife warning reflectors. *PLoS ONE*, 12(9), e0184761. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184761>
- Klar, N., Herrmann, M., & Kramer Schadt, S. (2009). Effects and Mitigation of Road Impacts on Individual Movement Behavior of Wildcats. *The Journal of Wildlife Management*, 73(5), 631–638. <https://doi.org/10.2193/2007-574>
- Knufinke, J. F., Helldin, J.-O., Bhardwaj, M., & Olsson, M. (2020). Temporal patterns of humans and ungulates at bridges (IENE 2020 International Conference). TRIE-KOL.

- Langton, T. E. S., & Clevenger, A. P. (2021). *Measures to Reduce Road Impacts on Amphibians and Reptiles in California: Best Management Practices and Technical Guidance*. Western Transportation Institute for California, Department of Transportation, Division of Research, Innovation and System Information. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/research-innovation-system-information/documents/final-reports/ca20-2700-finalreport-a11y.pdf>
- Lesbarrères, D., Lodé, T., & Merilä, J. (2004). What type of amphibian tunnel could reduce road kills? *Oryx*, 38(2), 220–223. <https://doi.org/10.1017/S0030605304000389>
- LIFE LINES. (2021). Proposta de soluções ecológicas para promoção da Biodiversidade nas faixas marginais de estradas. LIFE14 NAT / PT/ 001081. 47 pp.
- LIFE LINXCONNECT (2021). Protocolo de desfragmentación de hábitats en vías de comunicación y conectividad. 38 pp.
- Lodnert, D. (2021). Evaluating the behavioural response of moose (*Alces alces*) to acoustic stimuli. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Lugon, A., Eicher, C., & Bontadina, F. (2017). *Fledermausschutz bei der Planung, Gestaltung und Sanierung von Verkehrsinfrastrukturen*. BAFU, ASTRA. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.17188.17283>
- Malo, J. E., García De La Morena, E. L., Hervás, I., Mata, C., & Herranz, J. (2016). Uncapped tubular poles along high-speed railway lines act as pitfall traps for cavity nesting birds. *European Journal of Wildlife Research*, 62(4), 483–489. <https://doi.org/10.1007/s10344-016-1025-x>
- Malo, J. E., García De La Morena, E. L., Hervás, I., Mata, C., & Herranz, J. (2017). Cross-scale Changes in Bird Behavior Around a High Speed Railway: From Landscape Occupation to Infrastructure Use and Collision Risk. In: L. Borda-de-Água, R. Barrientos, P. Beja, & H. M. Pereira (Eds.), *Railway Ecology* (1st ed., pp. 117–134). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_8
- Mata, C., Hervás, I., Herranz, J., Suárez, F., & Malo, J.E. (2008). Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a Spanish motorway, *Journal of Environmental Management*, 88(3): 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.014>.
- Marchant, P., Hale, J. D., & Sadler, J. P. (2020). Does changing to brighter road lighting improve road safety? Multilevel longitudinal analysis of road traffic collision frequency during the relighting of a UK city. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 74(5), 467–472. <https://doi.org/10.1136/jech-2019-212208>
- Matos, C., Petrovan, S. O., Wheeler, P. M., & Ward, A. I. (2019). Landscape connectivity and spatial prioritization in an urbanising world: A network analysis approach for a threatened amphibian. *Biological Conservation*, 237, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.035>
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2015). *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada)*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transportes, número 1. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 139 pp. Madrid.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2013). *Desfragmentación de hábitats. Orientaciones para reducir los efectos de las infraestructuras de transporte en funcionamiento*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 5. O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 159 pp. Madrid.

- Ministerio de Medio Ambiente (2006). *Prescripciones Técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 1. O. A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. 108 pp. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2010). *Prescripciones Técnicas para la reducción de la fragmentación de hábitats en las fases de planificación y trazado*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 3. O. A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 145 pp. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). *Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de transporte*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 4. O.A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 133 pp. Madrid.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2019). *Efectos de Borde y Efectos en el Margen de las Infraestructuras de Transporte y Atenuación de su Impacto sobre la Biodiversidad*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 7. Ministerio para la Transición Ecológica. 98 pp. Madrid.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Estrategia Nacional de la Infraestructura Verde y de la Conectividad y la Restauración Ecológicas*. Gobierno de España. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 249 pp.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2024). *Estrategia de Desfragmentación de Hábitats afectados por infraestructuras lineales de transporte*. (1ª Edición). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 80 pp.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Estrategia Nacional para la conservación de los polinizadores*. Gobierno de España. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 93 pp.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Prescripciones Técnicas para hacer Efectivos los Seguidimientos de las Medidas de Mitigación del Efecto Barrera de las Infraestructuras de Transporte (Diseño, Documentación y Archivo del Seguimiento Ambiental)*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 8. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 145 pp. Madrid.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2024). *Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad (Segunda edición ampliada y revisada)*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 6. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 286 pp. Madrid.
- Møller, J. D., Dekker, J., Baagøe, H. J., Garin, I., Alberdi, A., Christensen, M., & Elmeros, M. (2016). *SafeBatPaths. Fumbling in the dark – Effectiveness of mitigating measures for bats – a review* (CEDR Call 2013: Roads and Wildlife). https://static-curis.ku.dk/portal/files/192447958/SafeBatPaths_Fumbling_in_the_dark_effectiveness_of_bat_mitigation_measures_on_roads_Effectiveness_of_mitigating_measures_for_bats_a_review.pdf

- Mu, H., Li, X., Du, X., Huang, J., Su, W., Hu, T., Wen, Y., Yin, P., Han, Y., & Xue, F. (2021). Evaluation of Light Pollution in Global Protected Areas from 1992 to 2018. *Remote Sensing*, 13(9), 1849. <https://doi.org/10.3390/rs13091849>
- Müller, S., & Berthoud, G. (1994). *Sécurité faune-trafics: Manuel pratique à l'usage des ingénieurs civils*. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Département de génie civil.
- Ormerod, S. J., Durance, I., Hatton-Ellis, T., Cable, J., Chadwick, E., Griffiths S., Jones, T., Larsen, S., Merrix F. L., Symondson, W. O. C., Thomas, R., & Vaughan, I. P. (2011). *Landscape Connectivity of Freshwater Ecosystems: Strategic Review and Recommendations* (Report to the Countryside Council for Wales).
- Ottburg, F. G. W. A., & van der Grift, E. A. (2019). Effectiveness of Road Mitigation for Common Toads (*Bufo bufo*) in the Netherlands. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 23. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00023>
- Petrovan, S. O., & Schmidt, B. R. (2019). Neglected juveniles; a call for integrating all amphibian life stages in assessments of mitigation success (and how to do it). *Biological Conservation*, 236, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.023>
- River and Stream Continuity Partnership. (2011). *Massachusetts River and Stream Crossing Standards*. https://www.nae.usace.army.mil/Portals/74/docs/regulatory/StreamRiverContinuity/MA_RiverStreamCrossingStandards.pdf
- Rodrigo, A. & Bosh, J. (2019). Mesures per afavorir els pol·linitzadors en la restauració ambiental. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya. 15 pp. https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/avaluacio_ambiental/infraestructura_verda_serveis_ecosistemics/serveis_ecosistemics/pol·linitzadors/Guia_pol_carretera-Definitiu.pdf
- Rosell, C., Álvarez, G., Cahill, S., Campeny, R., Rodríguez, A. & Séiler, A. 2003. COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. 349 pp. Madrid.
- Rosell, C., Parpal, J., Campeny, R., Jové, S., Pasquina, A., & Velasco, J. M. (1997). Mitigation of barrier effect of linear infrastructures on wildlife. In: K. Canters (Ed.), *Habitat fragmentation and infrastructure*. Ministry of Transportation, Public Works and Water Management.
- Rosell, C., Pericas, B., Colomer, J., & Navàs, F. (2019). *Guide to measures for reducing damage caused by wild mammals in rural areas, urban areas and infrastructures*. Barcelona Provincial Council Press and Communication Office. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28253.44008>
- Rosell, C. Reck, H., Helldin, J.O., Cama, A., & O'Brien, E. (2016). *Road maintenance guidelines to improve wildlife conservation and traffic safety*. CEDR Call 2013: Roads and Wildlife SAFEROAD Safe roads for wildlife and people. 110 pp. <https://www.cedr.eu/docs/view/606328a595fb7-en>
- Rosell, C., Seiler, A., Chrétien, L., Guinard, E., Hlaváč, V., Moulherat, S., Fernández, L.M., Georgiadis, L., Mot, R., Reck, H., Sangwine, T., Sjolund, A., Trocmé, M., Hahn, E., Bekker, H., Bíl, M., Böttcher, M., O'Malley, V., Autret, Y., & van der Grift, E. (Eds.) (2023). *IENE Biodiversity and infrastructure. A handbook for action*. <https://www.biodiversityinfrastructure.org/>
- Rosell, C., Ricci, S., Fernández L.M.; Voumvoulaki, N., Mertzanis, Y., Psaralexi, M., Limperopoulos, G., Mertens, A. (2023b). *Guidelines to reduce large mammal and traffic conflicts. Upgrading structures roads to provide safe wildlife passages and other measures to reduce road mortality risks*. Life Safe-Crossing 'Preventing animal-vehicle collisions. Demonstration of Best Practices targeting priority species in SE Europe'.

- Rytwinski, T., Soanes, K., Jaeger, J. A. G., Fahrig, L., Findlay, C. S., Houlahan, J., van der Ree, R., & van der Grift, E. A. (2016). How Effective Is Road Mitigation at Reducing Road-Kill? A Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 11(11), e0166941. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166941>
- Sanders, D., Frago, E., Kehoe, R., Patterson, C., & Gaston, K. J. (2020). A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night. *Nature Ecology & Evolution*, 5(1), 74–81. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01322-x>
- Schmid, H., Heynen, D., Doppler, W., & Rössler, M. (2012). *Les oiseaux, le verre et la lumière dans la construction (2ème éd. revue et enrichie)*. Station Ornithologique Suisse. https://www.vogelwarte.ch/modx/assets/files/publications/archive/schmid_2012_voegel_glas_licht_fr.pdf
- Schmidt, B. R., Brenneisen, S., & Zumbach, S. (2020). Evidence-Based Amphibian Conservation: A Case Study on Toad Tunnels. *Herpetologica*, 76(2), 228. <https://doi.org/10.1655/0018-0831-76.2.228>
- Schmidt, B. R., & Zumbach, S. (2008). Amphibian Road Mortality and How to Prevent It: A Review. <https://doi.org/10.5167/UZH-10142>
- Schmidt, B. R., & Zumbach, S. (2008). Amphibian Road Mortality and How to Prevent It: A Review. In: J. C. Mitchell, R. E. Jung Brown, & B. Bartolomew, *Urban Herpetology*. St. Louis, Missouri: Society for the Study of Amphibians and Reptiles, 157-167.
- Schmidt, G. M., Lewison, R. L., & Swarts, H. M. (2021). Pairing long-term population monitoring and wildlife crossing structure interaction data to evaluate road mitigation effectiveness. *Biological Conservation*, 257, 109085. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109085>
- Seiler, A., Olsson, M., & Lindqvist, M. (2015). *Analys av infrastrukturens permeabilitet för klövdjur*. TRIEKOL. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1364535/FULLTEXT01.pdf>
- Seiler, A., Willebrand, S., & Verschuur, L. (2017). *Funktion och effekt av blå viltreflektorer – en litteraturstudie och fältexperiment (TVD-12184)*. Trafikverket. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1747124/FULLTEXT01.pdf>
- SÉTRA. (2013). *Petits ouvrages hydrauliques et continuités écologiques. Cas de la faune piscicole (Economie, Environnement, Conception)*. https://www.trameverteet-bleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/1338w-ni_faune_piscicole.pdf
- Smith, D. J. (2003). *Monitoring Wildlife Use and Determining Standards for Culvert Design (BC354-34)*. Florida Department of Transportation. <https://fdotwww.blob.core.windows.net/sitefinity/docs/default-source/research/reports/fdot-bc354-34-rpt.pdf>
- Solowczuk, A. (2019). Determinants of the Performance of Bat Gantries Installed to Carry Bat Commuting Routes over the S3 Expressway in Poland. *Symmetry*, 11(8), 1022. <https://doi.org/10.3390/sym11081022>
- Sordello, R., Busson, S., Cornuau, J. H., Deverchère, P., Faure, B., Guetté, A., Hölker, F., Kerbiriou, C., Lengagne, T., Le Viol, I., Longcore, T., Moeschler, P., Ranzoni, J., Ray, N., Reyjol, Y., Roulet, Y., Schroer, S., Secondi, J., Valet, N., ... & Vauclair, S. (2022). A plea for a worldwide development of dark infrastructure for biodiversity – Practical examples and ways to go forward. *Landscape and Urban Planning*, 219, 104332. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104332>
- Spanowicz, A. G., Teixeira, F. Z., & Jaeger, J. A. G. (2020). An adaptive plan for prioritizing road sections for fencing to reduce animal mortality. *Conservation Biology*, 34(5), 1210–1220. <https://doi.org/10.1111/cobi.13502>

- Stannard, H. J., Wynan, M. B., Wynan, R. J., Dixon, B. A., Mayadunnage, S., & Old, J. M. (2021). Can virtual fences reduce wombat road mortalities? *Ecological Engineering*, 172, 106414. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106414>
- Sullivan, T. L., Williams, A. F., Messmer, T. A., Hellinga, L. A., & Kyrychenko, S. Y. (2004). Effectiveness of temporary warning signs in reducing deer-vehicle collisions during mule deer migrations. *Wildlife Society Bulletin*, 32(3), 907–915. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2004\)032\[0907:EOTWSI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2004)032[0907:EOTWSI]2.0.CO;2)
- Teixeira, F. Z., Printes, R. C., Fagundes, J. C. G., Alonso, A. C., & Kindel, A. (2013). Canopy bridges as road overpasses for wildlife in urban fragmented landscapes. *Biota Neotropica*, 13(1), 117–123. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000100013>
- Touzot, M., Lefebure, T., Lengagne, T., Secondi, J., Dumet, A., Konecny-Dupre, L., Veber, P., Navratil, V., Duchamp, C., & Mondy, N. (2022). Transcriptome-wide deregulation of gene expression by artificial light at night in tadpoles of common toads. *Science of The Total Environment*, 818, 151734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151734>
- UIC. (2022). *European Railways: Strategy and Actions for Biodiversity. REVERSE*. https://uic.org/IMG/pdf/uic_reverse_strategy_and_actions_for_biodiversity.pdf
- Ujvári, M., Baagøe, H. J., & Madsen, A. B. (2004). Effectiveness of acoustic road markings in reducing deer vehicle collisions: A behavioural study. *Wildlife Biology*, 10(2), 155–159. <https://doi.org/10.2981/wlb.2004.011>
- van der Grift, E. A., & van der Ree, R. (2015). Guidelines for Evaluating Use of Wildlife Crossing Structures. In: R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo (Eds.), *Handbook of Road Ecology* (1st ed., pp. 119–128). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch15>
- van der Grift, E. A., van der Ree, R., Fahrig, L., Findlay, S., Houlahan, J., Jaeger, J. A. G., Klar, N., Madriñan, L. F., & Olson, L. (2013). Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation*, 22(2), 425–448. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0421-0>
- van der Grift, E., Ottburg, F., & Ottburg, F. (2009). Monitoring wildlife overpass use by amphibians: Do artificially maintained humid conditions enhance crossing rates? In: P. J. Wagner, D. Nelson, and E. Murray (Eds.), *Proceedings of the 2009 International Conference on Ecology and Transportation*. Raleigh, NC: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, 2010. <https://www.icoet.net/sites/default/files/files/ICOET2009-Proceedings-Complete.pdf>
- van der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons, Inc.
- van Grunsven, R. H. A., Creemers, R., Joosten, K., Donners, M., & Veenendaal, E. M. (2017). Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle. *Amphibia-Reptilia*, 38(1), 49–55. <https://doi.org/10.1163/15685381-00003081>
- Villalva, P., Reto, D., Santos-Reis, M., Revilla, E., & Grilo, C. (2013). Do dry ledges reduce the barrier effect of roads? *Ecological Engineering*, 57, 143–148. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.005>
- White, I. C., & Hughes, S. A. (2019). Trial of a bridge for reconnecting fragmented arboreal habitat for hazel dormouse *Muscardinus avellanarius* at Briddlesford Nature Reserve, Isle of Wight, UK. *Conservation Evidence*, 16, 6–11.
- White, K. J., Mayes, W. M., & Petrovan, S. O. (2017). Identifying pathways of exposure to highway pollutants in great crested newt (*Triturus cristatus*) road mitigation tunnels. *Water and Environment Journal*, 31(3), 310–316. <https://doi.org/10.1111/wej.12244>

Zuberogitia, I., Del Real, J., Torres, J. J., Rodríguez, L., Alonso, M., De Alba, V., Azahara, C., & Zabala, J. (2015). Testing pole barriers as feasible mitigation measure to avoid bird vehicle collisions (BVC). *Ecological Engineering*, 83, 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.06.026>

Más información en:

Web de la serie de publicaciones para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/fragmentacion/fragm-publicaciones.html>

Web de las jornadas técnicas del Grupo de Trabajo sobre Fragmentación de Hábitats causada por Infraestructuras de Transporte: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/fragmentacion/fragm-grupo-trabajo.html>

Web de la Base de datos bibliográfica sobre fragmentación: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/fragmentacion/fragm-bd-bibliografica.html>

Web de la organización Infra Eco Network Europe: www.iene.info.

Web de la organización Australasian Network on Ecology and Transportation: www.ecologyandtransport.com

Web de la organización International Conference on Ecology & Transportation: www.icoet.net/

2

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA
EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS DEL EFECTO BARRERA
DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

3

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DE
HÁBITATS EN LAS FASES DE PLANIFICACIÓN Y TRAZADO

4

INDICADORES DE FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS CAUSADA POR
INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE

5

DESFRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS. ORIENTACIONES PARA REDUCIR LOS
EFECTOS DE LAS CARRETERAS Y FERROCARRILES EN FUNCIONAMIENTO

6

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS A DESFRAGMENTAR PARA REDUCIR LOS IMPACTOS DE LAS
INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE EN LA BIODIVERSIDAD.
SEGUNDA EDICIÓN AMPLIADA Y REVISADA.

7

EFFECTOS DE BORDE Y EFECTOS EN EL MARGEN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y
ATENUACIÓN DE SU IMPACTO SOBRE LA BIODIVERSIDAD

8

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA HACER EFECTIVOS LOS SEGUIMIENTOS DE LAS MEDIDAS DE
MITIGACIÓN DEL EFECTO BARRERA DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE (DISEÑO, DO-
CUMENTACIÓN Y ARCHIVO DEL SEGUIMIENTO AMBIENTAL)

9

METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA MORTALIDAD DE VERTEBRADOS
EN INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

