

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

1

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE PASOS DE FAUNA Y VALLADOS PERIMETRALES (SEGUNDA EDICIÓN, REVISADA Y AMPLIADA)



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

**PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE
PASOS DE FAUNA Y VALLADOS PERIMETRALES
(SEGUNDA EDICIÓN, REVISADA Y AMPLIADA)**



Madrid, 2015

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**, impulsado por la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, en la que participaron las siguientes personas:

Georgina Álvarez Jiménez, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

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 Naturaleza, Consellería do Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras, Xunta de Galicia.

Encarna Pérez Aguilera, Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.

Francisco Pérez María, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.

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

Margarita Rodríguez Pajares, Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.

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.

Jordi Solina Angelet, DG de Polítiques Ambientals, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya.

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, Marc Fernández y Ferran Navàs. MINUARTIA.

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

Ilustraciones: Pep Gaspar, ARTENTRAÇ.

Agradecimientos: Personas que han aportado información, asesoramiento o han participado en la revisión de los sucesivos borradores: Ferran Camps, DG d'Infraestructures de Mobilitat Terrestre, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya; Ignacio Garin, Departamento de Zoología y Biología Celular Animal, 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, Departamento de Biología Animal, Universidad de Barcelona; Marc Ordeix, Centre d'Estudis dels Rius Mediterranis; José Antonio Ranea, Asociación "Trashumancia Sierra de Gredos"; Antoni Sorolla, DG de Polítiques Ambientals, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Luis Ramajo, Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía; Fundación Oso Pardo.

Cita recomendada:

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.



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



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta:

Paseo de la Infanta Isabel, 1
28014 Madrid
Teléfono: 91 347 55 41 / Fax: 91 347 57 22
Tienda virtual: www.magrama.es
e-mail: centropublicaciones@magrama.es

Impresión y Encuadernación:

Imprenta Taravilla, S.L.

NIPO: 280-15-099-9 (papel)
NIPO: 280-15-108-5 (línea)
ISBN: 978-84-491-0080-2
Depósito Legal: M-37692-2015

© Catálogo General de publicaciones de la Administración General del Estado:
<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Datos técnicos: Formato: 21 x 29,7 cm. Caja de texto: 15,1 x 25,3 cm. Composición: Dos columnas.
Tipografía: Myriad Pro a cuerpo 10. Encuadernación: rústica cosida con hilo. Papel: Interior en couche mate de 115 gramos.
Cubierta en cartulina gráfica de 300 gramos. Tintas a 4/4.

En esta publicación se ha utilizado papel libre de cloro de acuerdo con los criterios medioambientales de la contratación pública.



1

Presentación

2

Aspectos generales y marco de referencia

3

Catálogo de medidas y prescripciones técnicas para su aplicación

4

Anexo

Índice

1	Presentación	7
1.1	Antecedentes	9
1.2	Justificación	10
1.3	Ámbito de aplicación	10
1.4	Objetivos	10
1.5	Destinatarios	11
2	Aspectos generales y marco de referencia	13
2.1	Información de base para la elaboración del documento	15
2.2	Efectos de las infraestructuras viarias sobre la fauna y sus hábitats	15
2.3	La reducción de impactos en las distintas fases de la vida de una infraestructura	16
3	Catálogo de medidas y prescripciones técnicas para su aplicación	21
3.1	Funciones básicas de las medidas incluidas en el documento	23
3.2	Grupos de fauna de especial atención para el diseño de medidas	25
3.3	Selección de la ubicación de los pasos de fauna	25
3.4	Densidad de pasos de fauna	27
3.5	Elección del tipo de estructura	27
3.6	Dimensiones de los pasos	33
3.7	Fichas descriptivas de medidas	35
4	Anexo	147
	Bibliografía	149

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

En las últimas décadas se han realizado notorios progresos en el campo del estudio y prevención de los impactos que las vías de transporte generan sobre la naturaleza. La barrera que constituyen estos ejes lineales para los desplazamientos de fauna silvestre 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 colisión con grandes mamíferos. Este impacto se produce debido a la intersección de las redes viarias, que canalizan el flujo de vehículos, y las redes de conectores ecológicos, que concentran desplazamientos de fauna silvestre.

El desarrollo de una **red de transporte más segura** y con el **mínimo impacto sobre la fauna** 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 de conocimiento sobre la materia en Europa se encuentra en el desarrollo de la Acción COST 341 (1999-2003). En ese proyecto de cooperación científica y tecnológica que impulsó la Comisión Europea y la organización *Infra Eco Network Europe*, 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), 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 de Fragmentación de Hábitats causada por Infraestructuras de Transporte**, de la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad, 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*, 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 seis volúmenes. Los contenidos del documento se elaboraron partiendo del manual europeo elaborado en el marco del proyecto COST 341, e 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 manual europeo, ofreciendo una presentación de la información en fichas con abundantes 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 centenares de pasos de fauna en toda España, 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 define como una red estratégicamente planificada de áreas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad.

1.2 Justificación

Transcurridos diez años desde la elaboración de la primera edición del documento, y ante el importante volumen de nueva información disponible sobre medidas para reducir la fragmentación de hábitats, se consideró indispensable su actualización. Durante estos años la práctica en aplicación 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 la efectividad de las medidas ejecutadas y la aplicación de nuevas tecnologías y materiales. Además, a lo largo de estos años se han celebrado más de una decena de congresos internacionales monográficos sobre ecología y transporte en Europa, Estados Unidos y Australia, así como cuatro jornadas de ámbito nacional sobre la materia en las cuales se ha presentado una importante cantidad de información sobre nuevas medidas y conceptos innovadores.

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.

1.3 Ámbito de aplicación

El principal ámbito de aplicación de este documento es la redacción de los estudios y proyectos de nuevas infraestructuras linea-

les de transporte (carreteras y ferrocarriles) y de mejora de las existentes. En particular, va destinado a su aplicación en los estudios informativos y sus correspondientes estudios de impacto ambiental (EslA), así como en los proyectos de medidas correctoras que se incorporan en los proyectos de trazado y constructivos. Además, el documento también es aplicable en otros ámbitos de 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 otros elementos de la infraestructura verde y, en general, en las intervenciones de desfragmentación de hábitats destinadas a reducir el efecto barrera y la mortalidad de fauna por atropello en infraestructuras en funcionamiento.

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, publicado en 2010 y titulado *Prescripciones técnicas para la reducción de la fragmentación de hábitats en las fases de planificación y trazado*), 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), del seguimiento ambiental en la fase de explotación, ni las tareas de evaluación de la efectividad de las medidas que son objeto del documento 2, publicado en 2008 y titulado *Prescripciones técnicas para el seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas correctoras del efecto barrera de las infraestructuras de transporte*. Asimismo, la información sobre actuaciones de desfragmentación para mitigar el efecto barrera en vías en funcionamiento fue tratada en el documento 5, publicado en 2013 y titulado *Desfragmentación de hábitats. Orientaciones para reducir los efectos de las carreteras y ferrocarriles en funcionamiento*.

1.4 Objetivos

La finalidad de este documento es la aportación de las 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.

El documento también tiene como objetivo establecer, además de las prescripciones de obligado cumplimiento, las recomendaciones para aumentar la efectividad de las medidas, así como ofrecer 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 la ubicación de pasos, su densidad o sus dimensiones deberá adaptarse a cada situación, contando con el trabajo conjunto de los responsables del proyecto, construcción o 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 los profesionales que participan en las fases de planificación, proyecto, construcción, conservación y explotación de las vías de transporte, así como a los técnicos implicados 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 fauna y de la biodiversidad en general, con el urbanismo y el paisajismo. Finalmente, el texto puede ser de interés en el ámbito académico como obra de referencia para estudiantes de grado y postgrado en estos mismos ámbitos y en los de ingeniería civil.

2

Aspectos generales y marco de referencia



Presentación



Aspectos generales
y marco de referencia



Catálogo de medidas y
prescripciones técnicas
para su aplicación



Anexo

2.1 Información de base para la elaboración del documento

La información que fue incorporada a la primera edición de este documento partía, básicamente, 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 'Fragmentación del hábitat causada por infraestructuras de transporte'. Las prescripciones técnicas incluidas en el capítulo 7 de ese manual ('Pasos de fauna y otras soluciones técnicas') constituyeron la fuente básica de información a partir de la cual se redactó la primera edición del documento, cuyas propuestas de medidas 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 *Infra Eco 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 del presente documento se ha ampliado la información a partir de una exhaustiva revisión de:

- Bibliografía publicada sobre 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):
 - *ICOET - International Conference on Ecology & Transportation.*
 - *IENE Conference on Ecology and Transportation.*
 - *AENET International Conference Australasian Network on Ecology and Transportation.*
- Resultados de estudios y proyectos de seguimiento, particularmente los realizados en España sobre seguimiento de medidas de reducción de impactos sobre la fauna, que se han desarrollado 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 y de reciente publicación.

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

La fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte es el resultado de un conjunto de efectos y procesos que se sintetizan con detalle en el documento 4 (*Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de transporte*) y que incluyen:

- La destrucción de hábitats.

- La reducción del tamaño de los hábitats.
- Los efectos de borde: difusión de contaminantes, ruido, contaminación lumínica, frecuentación antrópica y otros procesos que comportan pérdida de calidad del hábitat.
- Los procesos de margen: creación de nuevos hábitats, canalización de movimientos de organismos, proliferación y dispersión de especies exóticas, etc.
- Los efectos de filtro y barrera.
- La mortalidad de fauna por atropello u otras causas relacionadas con la infraestructura.
- El desarrollo urbano inducido.

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 apartado 3.1).

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

Aunque las medidas que se presentan en este documento van destinadas básicamente a la

corrección de impactos y a su aplicación en la redacción de estudios informativos o proyectos de trazado, proyectos constructivos y los correspondientes proyectos de medidas de mitigación de impactos, 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, que pueden clasificarse, según su función básica, como preventivas, correctoras o compensatorias.

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 otra alternativa de modo de transporte que permita 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 a alcanzar 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 lo-



Algunos ejemplos de conectores (un curso fluvial y márgenes de cultivos con vegetación arbustiva) que canalizan movimientos de fauna silvestre a través de la matriz territorial. Fotos: C. Rosell. Cos Agents Rurals, Generalitat de Catalunya.

cales 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 distintas manchas de hábitat que, sin la presencia de estos corredores de dispersión, quedarían aisladas.

Medidas correctoras

Tienen por objetivo reducir al mínimo los impactos que no se han podido evitar 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 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, vigente en el momento de publicar este documento, y con la legislación autonómica existente sobre la materia. Las Declaraciones de Impacto Ambiental 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 las DIA y los EsIA 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.

Medidas compensatorias

La aplicación de estas medidas, destinadas a compensar los impactos que no se han podido mitigar adecuadamente, se ha intensificado 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, no haya otras alternativas que permitan alcanzar los objetivos del plan o proyecto sin afectar elementos de la Red y se pueda garantizar que, con la aplicación de medidas compensatorias, se garantice la coherencia global de la Red Natura 2000.

El objetivo de la aplicación de este tipo de medidas será el de 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, y más aún, cuando se trata de que los hábitats alternativos desarrollen 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, en el caso de los lugares incluidos en la Red Natura 2000 debe ser excepcional y restringirse al máximo, primando, como establece la mencionada Directiva, la prevención de la afección de dichos lugares.

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 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 (véase figura de la página siguiente).

El diseño de la permeabilización de la vía al paso de fauna se inscribe básicamente en el contexto de la evaluación de impacto ambiental, que se realiza habitualmente a partir 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 descriptivas de las prescripciones técnicas para la ejecu-

ción de pasos de fauna y cerramientos serán de utilidad especialmente para estas fases.

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 alcancen 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 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.).

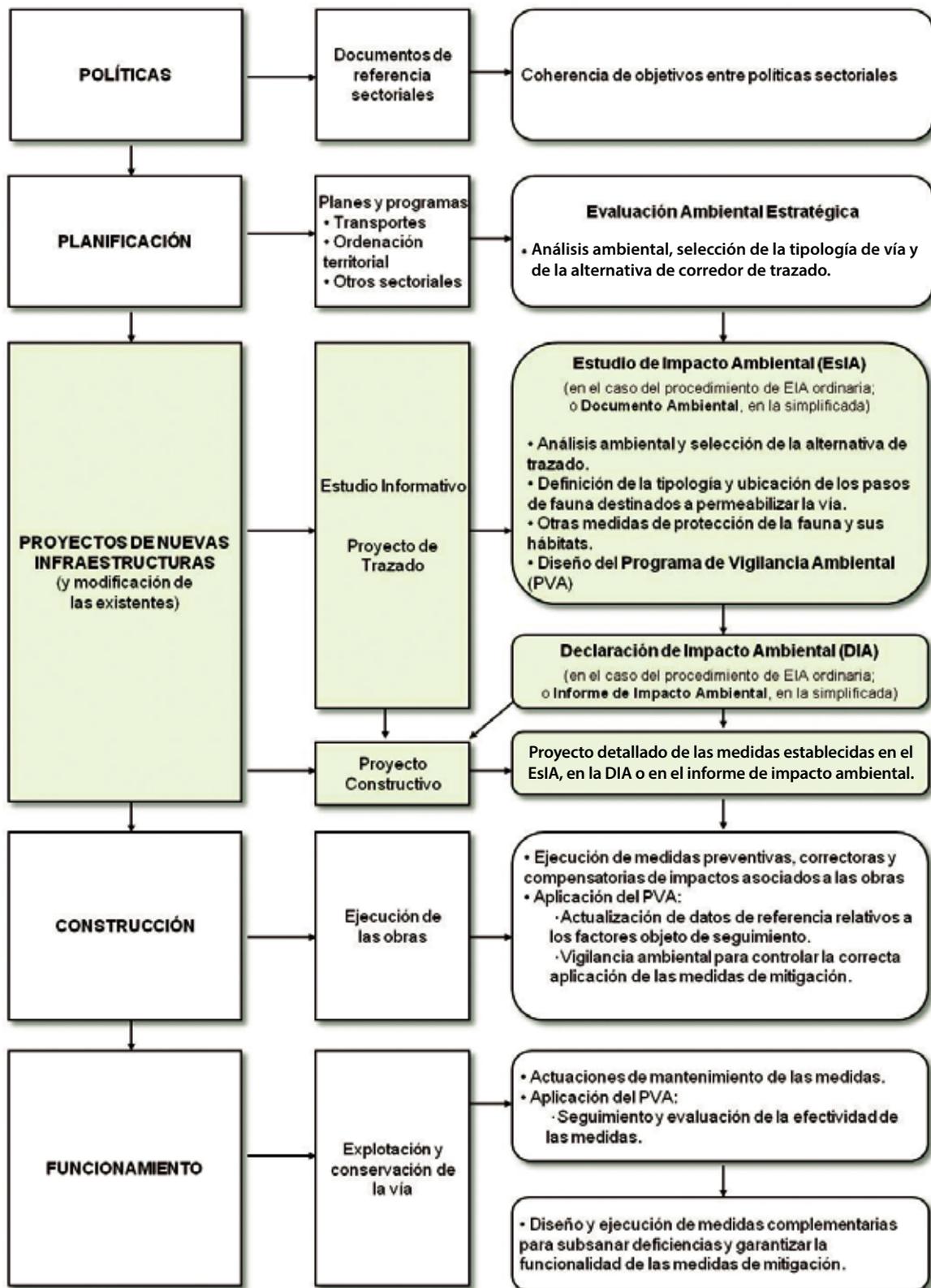
Mantenimiento y conservación de las medidas

Son indispensables para garantizar que las medidas aplicadas son 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 2 de la serie: *Prescripciones técnicas para el seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas correctoras del efecto barrera de las infraestructuras de transporte*.



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, destacada en verde, es el ámbito en el que se inscribe la aplicación de las medidas descritas en este documento.

3

Catálogo de medidas y prescripciones técnicas para su aplicación



Presentación



Aspectos generales
y marco de referencia



Catálogo de medidas y
prescripciones técnicas
para su aplicación



Anexo

3.1 Funciones básicas de las medidas incluidas en el documento

Las medidas en las que se centra este documento tienen básicamente dos objetivos (véase figura en la página siguiente):

a) Facilitar conexiones entre los hábitats fragmentados por la infraestructura que permitan el paso de fauna silvestre y favorezcan la conectividad ecológica

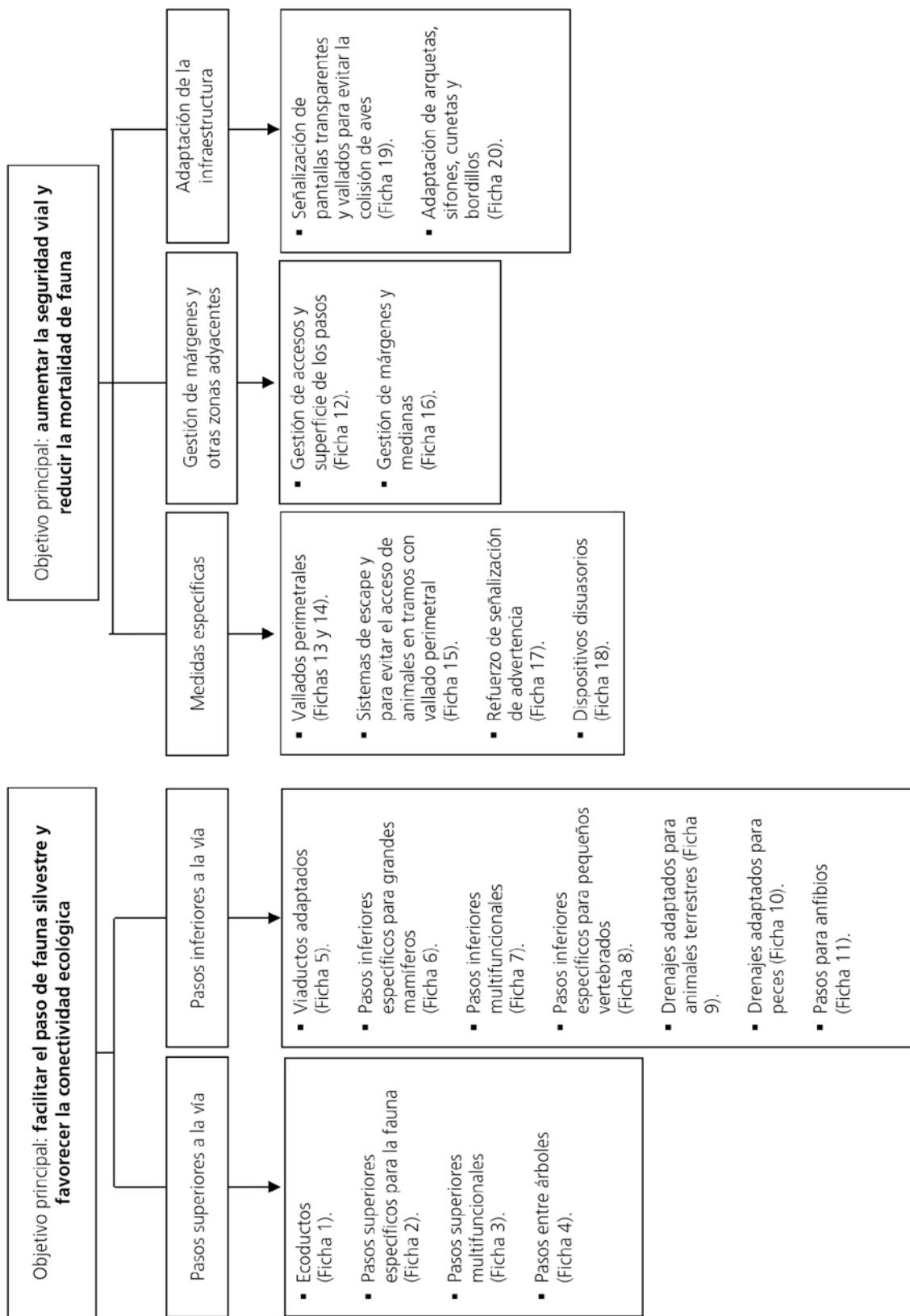
Para alcanzar este objetivo se propone la construcción o adaptación de estructuras transversales a la vía que pueden destinarse exclusivamente a la fauna, o bien compartir el paso de fauna silvestre con otros usos, como el de drenaje o la restitución de caminos o vías pecuarias. En este documento se 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).

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

Las principales causas de mortalidad de fauna asociadas 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 13, 14 y 15) y otros métodos para evitar los atropellos y riesgos de accidentes causados por grandes mamíferos, como medidas de gestión de márgenes (Ficha 16), señalización y dispositivos disuasorios (Fichas 17 y 18). Estas medidas de gestión de márgenes y hábitats adyacentes a la vía 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 concretas 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 19 y 20). Finalmente, se incluye una serie de fichas con medidas específicas para determinadas especies y grupos taxonómicos: tortugas terrestres (Ficha 21), murciélagos (Ficha 22), mustélidos semiacuáticos (Ficha 23), oso pardo (*Ursus arctos*) (Ficha 24) y lince ibérico (*Lynx pardinus*) (Ficha 25).

En la práctica, ambos tipos de medidas deben combinarse para alcanzar sus objetivos de manera óptima y **conseguir soluciones integradas que garanticen globalmente la permeabilidad de la vía al paso de fauna y la reducción de riesgos para la seguridad vial.**



Tipos de medidas a aplicar para reducir los impactos de las infraestructuras viarias sobre la fauna. Adaptado a partir de Iuell *et al.* (2005). Las Fichas 21 a 25 complementan las prescripciones con una síntesis de las actuaciones más adecuadas para algunas especies particularmente vulnerables al impacto de las vías de transportes.

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, el jabalí, etc. y grandes y medianos carnívoros como el oso, el lobo (*Canis lupus*), el lince ibérico, la nutria (*Lutra lutra*), etc.

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) Otras **especies amenazadas o de particular interés de conservación**, no incluidas en los táxones anteriormente indicados, que sean particularmente sensibles a los efectos de las vías de transporte y que se hayan identificado como prioritarios 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 de extinción' 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 21a 25) 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.

3.3 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 los ejes viarios. 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 usos del suelo compatibles con los desplazamientos de fauna.
- b. Presencia de formas del relieve que canalizan desplazamientos de fauna, en particular, las vaguadas y las crestas.

- c. Presencia de cursos fluviales que canalizan movimientos longitudinales de muchas especies de animales, tanto acuáticos y semiacuáticos como terrestres.
 - d. Información sobre rutas de desplazamiento habitual de fauna a partir de prospecciones sobre el terreno y de aportaciones de expertos locales.
- **Factor 3. Identificación de sectores de concentración de atropellos**, en los que se registre un alto índice de mortalidad de fauna o de accidentes causados por animales. Este aspecto se evaluará a partir de datos de vías en funcionamiento que discurren paralelas o próximas a vías de nueva construcción, o a partir de datos de la propia vía cuando esta sea objeto de proyectos de mejora.
 - **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: *Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad*.
- El análisis del paisaje, especialmente a partir de Sistemas de Información Geográfica (SIG), 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 herramientas SIG que facilitan estos análisis, de los cuales destaca por su extensa aplicación en España el denominado Conefor (<http://www.conefor.org/>).
 - 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 que comporte riesgo para la seguridad vial 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.
 - 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 construir 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 la adaptación de puntos de cruce ya existentes, como túneles, viaductos u otras estructuras de dimensiones y características adecuadas, que puedan ser adaptadas para favorecer su uso por parte de la fauna.

3.4 Densidad de pasos de fauna

- La permeabilización de las infraestructuras viarias al paso de fauna no solo debe garantizarse en tramos que afecten a 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 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 será distinta según el interés de los hábitats afectados, estableciéndose orientativamente los requerimientos de permeabilidad que se indican en la Tabla 3.1.
- Las densidades de pasos que se indican en la Tabla 3.1 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 que coincidan con rutas de desplazamiento habitual y zonas de interés para la dispersión de fauna.
- Los tramos que discurran por túneles y 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.
- A efectos del análisis de permeabilidad de la vía se considerarán todos los tipos de pasos adecuados para los grupos de fauna de referencia, tanto si se trata de pasos específicos como de estructuras multifuncionales destinadas a distintos usos que se hayan adaptado de manera satisfactoria para facilitar el paso de fauna.
- 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 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 2,2 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.

Tabla 3.1. Densidades de pasos de fauna propuestas para distintos hábitats y grupos de referencia (véase apartado 3.5 criterio 3.). Estas densidades son orientativas, y la ubicación precisa se definirá ajustándola lo más posible a la localización de hábitats y rutas de desplazamiento habitual de la fauna de referencia, los sectores de interés para la conectividad y los elementos paisajísticos lineales (fondos de valle, riberas, ecotonos, etc.) que puedan conducir movimientos de fauna.

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

3.5 Elección del tipo de estructura

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

- El interés del tramo para la conectividad ecológica en general y, en particular, para los desplazamientos de fauna.
- El 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

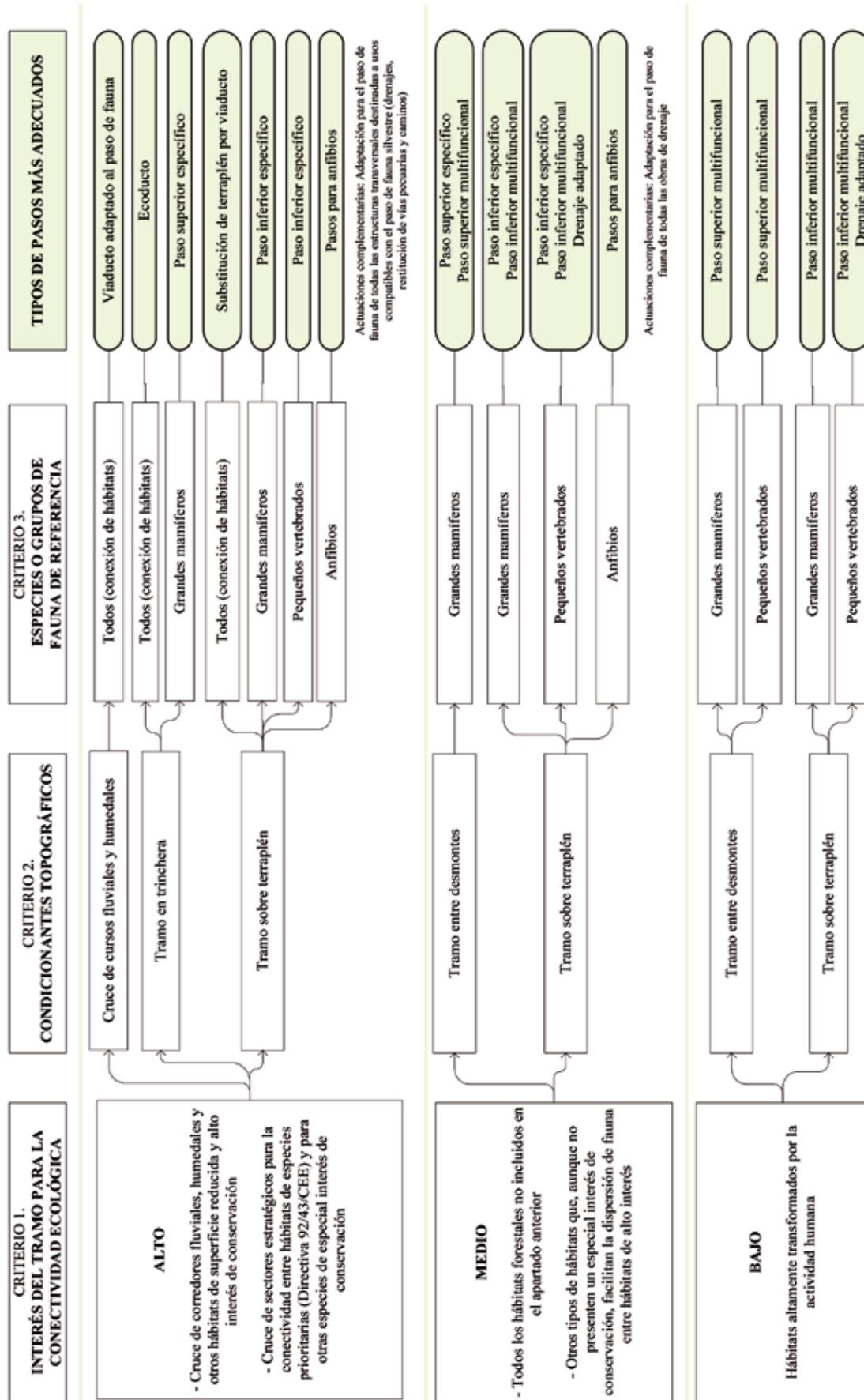
- El análisis de conectividad se aplicará al conjunto del territorio estudiado y considerará la distribución de los hábitats de mayor interés para la dispersión de las especies o grupos taxonómicos de referencia. Es importante que la evaluación se aplique a dos escalas, una de ellas regional, que permite 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 poco interés 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, concretamente túneles, falsos túneles, viaductos adecuadamente acondicionados o ecoductos.
- 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 zonas 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.

Criterio 2. Condicionantes topográficos

Los condicionantes topográficos en los sectores concretos en los que se requieran los pasos 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:
 - Elevar la rasante de la vía para situar la plataforma sobre un viaducto o sobre un terraplén en el que se construirán pasos inferiores para la 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.
 - 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.



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.

Tabla 3.2. Idoneidad de los tipos de pasos de fauna descritos en el Catálogo de Medidas para distintas especies o táxones. Adaptado a partir de Juell *et al.* (2005).

	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 específicos 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	●	●	○	-	●	●	○	-	-	-	-
Cévidos y bóvidos	●	●	○	-	●	●	○	-	-	-	-
Jabalí	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Carnívoros	●	●	○	-	●	●	○	-	-	-	-
Oso pardo	●	●	○	-	●	●	○	-	-	-	-
Lince ibérico	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Lobo	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Zorro	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Tejón	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	○
Nutria	○	○	○	-	●	●	○	-	○	-	○
Marta y garduña	●	●	○	○	●	●	○	-	○	-	○
Turón y comadreja	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	○
Gineja	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	○
Lagomorfos	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Liebrés	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Conejo	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Murciélagos	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Insectívoros	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Erizos	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Musarañas	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	○
Roedores	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	-
Ardilla	●	●	○	●	●	●	○	-	-	-	-
Lirones	●	○	○	○	●	-	-	-	-	-	-
Ratones y topillos	●	●	○	-	●	●	○	-	○	-	○
Reptiles	●	●	○	-	●	○	○	-	○	-	-
Serpientes	●	●	○	-	●	○	○	-	○	-	-
Lagartos	●	●	○	-	●	○	○	-	○	-	-
Tortugas	●	●	○	-	●	○	○	-	○	-	-
Anfibios	○	○	○	-	●	○	○	-	○	-	●
Peces	-	-	-	-	●	-	-	-	-	●	-
Aves apeonadoras	●	○	○	-	●	○	○	-	-	-	-
Invertebrados terrestres	●	●	○	-	●	○	○	-	-	-	-
Especies de hábitats secos	○	○	○	-	●	○	○	-	-	-	-
Especies de hábitats húmedos	○	○	○	-	●	○	○	-	○	-	○

● se puede utilizar adaptada a las condiciones locales ○ no aplicable

○ solución óptima

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 especies o táxones. 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

Solo dos tipos de estructuras pueden ser adecuadas para facilitar el paso de fauna de todo tipo de vertebrados, así como hábitats para invertebrados. Se trata de los ecoductos y los viaductos adaptados que permiten una completa conexión de los hábitats de ambos lados de la vía.

- 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 grupos de vertebrados, excepto la fauna piscícola. Pueden ser utilizados por anfibios si se realizan acondicionamientos específicos para este grupo,

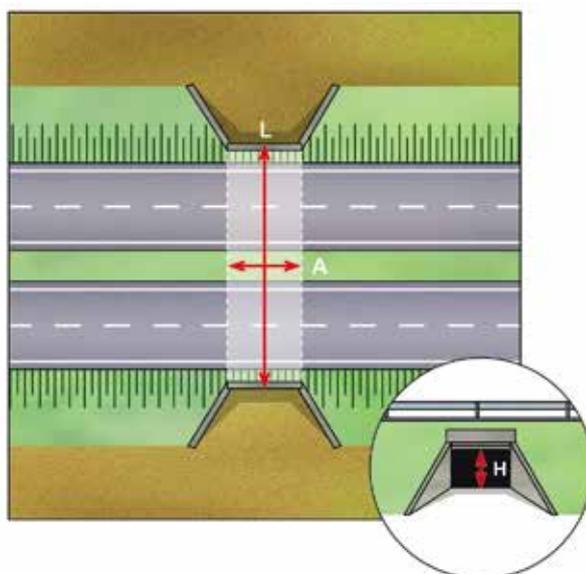
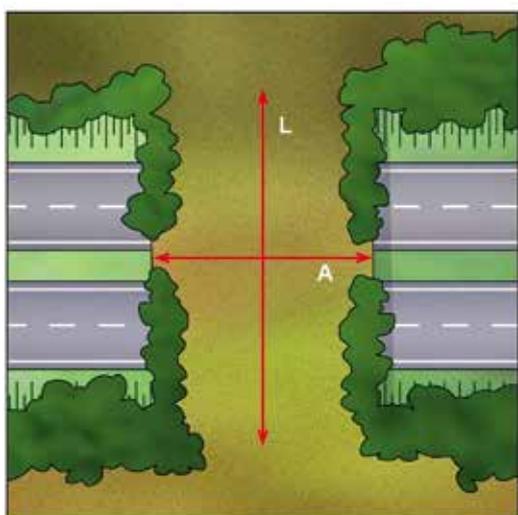
como los cerramientos opacos que guíen los animales hacia el paso (véase Ficha 11).

- Pasos para pequeños vertebrados

Pasos adecuados para carnívoros de talla media como los mustélidos, el zorro (*vulpes vulpes*), etc. y para el resto de grupos de mamíferos, excepto los ungulados y los grandes carnívoros. También pueden ser utilizados por reptiles y por anfibios si se realizan acondicionamientos específicos para este grupo, como los cerramientos opacos que guíen los animales hacia el paso (véase Ficha 11). El lince ibérico puede utilizar también este tipo de estructuras si se adaptan de manera adecuada. No obstante, para optimizar su efectividad, en puntos estratégicos es recomendable que disponga de pasos para grandes mamíferos. El jabalí usa en ocasiones los pasos destinados a pequeños vertebrados. No obstante, para optimizar la efectividad es recomendable que disponga de pasos para grandes mamíferos.

- 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.



Obtención de la anchura, longitud y altura de los pasos.

En estructuras inferiores a la vía que cuenten con varias células separadas por tabiques deberá obtenerse la anchura y calcular el índice de apertura (sección/longitud) de cada una de ellas por separado.

Tabla 3.3. Dimensiones de pasos de fauna superiores a la vía.

Tipo de paso	Usos	Grupos de fauna de referencia ¹	Dimensiones del paso ²	
			Mínimas	Recomendadas
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*	- 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*	- A: 20-50 m -
Paso entre árboles	Específico para la fauna	Mamíferos arborícolas (ardilla)	---	---

¹ Para más información sobre los táxones que se incluyen en cada grupo de fauna de referencia, consultar apartado 3.5.3.

² A: Anchura; L: Longitud.

* Véase notas complementarias en el apartado 3.6.

Tabla 3.4. Dimensiones de pasos de fauna inferiores a la vía.

Tipo de paso	Usos	Grupos de fauna de referencia ¹	Dimensiones del paso ²				
			Mínimas (A x H)		Recomendadas (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 e Índice Apertura > 0,75 - Ciervo: 12 x 3,5 m e Índice de Apertura > 1,5		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 e Índice Apertura > 0,75 - Ciervo: 12 x 3,5 m e Índice de Apertura > 1,5		15 x 3,5 m		
Paso inferior específico para pequeños vertebrados	Específico para la fauna	Pequeños Vertebrados	2 x 2 m		---		
Drenaje adaptado para animales terrestres	Mixto Paso de fauna + drenaje	Pequeños Vertebrados	2 x 2 m		---		
Drenaje adaptado para peces	Mixto Paso de fauna + drenaje	Peces	---		---		
Paso para anfibios	Específico para la fauna	Anfibios	Longitud (m)	<20	20-30	30-40	40-50
			Sección AxH(m)	1x0,75	1,5x1	1,75x1,25	2x1,5

¹ Para más información sobre los táxones que se incluyen en cada grupo de fauna de referencia, consultar apartado 3.5.3.

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

- Estructuras para peces

Solo 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).

- Para algunas especies que se han catalogado como 'En peligro de extinción' (o táxones 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 21 (tortugas terrestres), 22 (murciélagos), 23 (mustélidos semiacuáticos), 24 (oso pardo) y 25 (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 13 y 14). 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.

3.6 Dimensiones de los pasos

- Las dimensiones mínimas y recomendadas para cada tipo de paso se indican en las Tabla 3.3. y 3.4, y son de indispensable aplicación para garantizar la efectividad del mismo para todos los táxones a los que van destinadas.
- Las dimensiones recomendadas se aplicarán cuando se requiera incrementar la efectividad de un determinado tipo de paso por situarse en un punto de interés estratégico para la conservación de una especie u otras razones.
- No es aconsejable la construcción 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, los pasos inferiores o drenajes adaptados por los que discurra un curso fluvial respetarán la alineación natural del curso, para que esta no sufra modificación.
- Las dimensiones que se indican en las Tablas 3.3 y 3.4 hacen referencia a la anchura y la altura de la sección de la estructura, respectivamente (véase figura 1 al final de la página 31), así como a su índice de apertura. Este valor, calculado a partir de la relación entre la anchura y la longitud del paso, o bien entre la sección (ancho x alto) y la longitud, permite considerar el requerimiento de que a mayor longitud del paso (que corresponde a vías con mayor anchura de plataforma) se requiere mayor anchura de la estructura.

Notas complementarias:

Las dimensiones son uno de los factores clave en la efectividad de los pasos para determinadas especies (en particular ungulados o grandes carnívoros), aunque tiene tanta o más importancia su ubicación, con respecto a los hábitats que usan las especies de referencia. Así, un paso mal ubicado o mal integrado en su entorno no alcanzará la efectividad deseada aunque las dimensiones sean adecuadas. No obstante, las dimensiones son el elemento básico del que se parte en el proyecto de construcción y determinan, en gran medida, sus posibilidades de restauración e integración, así como su coste.

Las dimensiones que se indicaban en la primera edición del documento se establecieron considerando los resultados de seguimientos de pasos realizados en toda Europa que fueron analizados por expertos en fauna y transporte de los 19 países participantes en la Acción COST 341 y reflejados en el documento COST 341. *Fauna y Tráfico*.

Un manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones (luell et. al., 2005). En el caso de pasos inferiores, se contaba además con una muestra suficiente de resultados de seguimientos realizados en España, que permitió establecer dimensiones mínimas inferiores a las prescritas por el manual europeo, aunque estas se mantuvieron como recomendables en las áreas de mayor interés para la conectividad. Para los pasos superiores para grandes mamíferos no se realizaron cambios respecto al manual europeo, ya que no se disponía de ningún dato de seguimiento adicional que pudiera justificar una modificación. En el caso de los pasos superiores multifuncionales, no siendo pasos superiores específicos, sino al tratarse de adaptaciones de estructuras destinadas a la restitución de vías pecuarias o caminos, se estableció un ancho mínimo de 10 m, suficiente para permitir añadir unos 2 m de franjas de terreno natural restaurando a cada lado la vía. Pero para facilitar que dichas estructuras permitieran el paso de fauna en mayor medida, se mantuvo la proporcionalidad del ancho con la longitud como en los pasos superiores.

En esta segunda edición del documento se han considerado los datos disponibles sobre los seguimientos llevados a cabo en España con posterioridad, sin que se haya identificado información suficiente que justifique cambios, exceptuando una variación en las dimensiones de pasos de anfibios, en la que se ha eliminado la indicación sobre diámetro mínimo para estructuras circulares, puesto

que se aconseja que los pasos sean de sección rectangular (véase Ficha 11).

Para el caso de los pasos superiores específicos para grandes mamíferos, la aplicación del requerimiento, adicional a la anchura, de la relación $A/L > 0,8$ conlleva con frecuencia la construcción de estructuras de grandes dimensiones, que no son viables en algunos casos. Por ello, en ausencia de un número suficiente de datos de seguimiento que permita justificar un cambio de prescripciones respecto al manual europeo, excepcionalmente, la relación A/L podrá ser menor a la establecida cuando lo justifique el estudio detallado de las condiciones ecológicas del tramo en el que se deba ubicar la estructura, y en concreto, su interés para la conectividad ecológica, así como las características de las especies y el estado de sus poblaciones. En todo caso, para reducir los costes de los grandes pasos superiores a la vía, es recomendable optar por tipologías de falso túnel, que permiten absorber un gran volumen de excedentes de tierras en tramos que discurren entre desmontes, con lo cual no solo reducen los costes, sino las necesidades de acondicionar vertederos de tierras.

Respecto de los pasos superiores multifuncionales, la relación A/L también podrá ser menor a la establecida a partir de pasos con anchos mayores de 20 m, pero se recomienda su adecuación siguiendo las indicaciones de los pasos específicos superiores para grandes mamíferos, en la medida de lo posible.

3.7 Fichas descriptivas de medidas

Ecoductos y pasos de fauna

Ficha 1: ECODUCTO

Ficha 2: PASO SUPERIOR ESPECÍFICO PARA LA FAUNA

Ficha 3: PASO SUPERIOR MULTIFUNCIONAL

Ficha 4: PASO ENTRE ÁRBOLES

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

Ficha 12: ACONDICIONAMIENTO DE LOS ACCESOS Y SUPERFICIE DE LOS PASOS

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

Ficha 13: VALLADOS PERIMETRALES PARA GRANDES MAMÍFEROS

Ficha 14: VALLADOS PERIMETRALES PARA PEQUEÑOS VERTEBRADOS

Ficha 15: SISTEMAS DE ESCAPE Y PARA EVITAR EL ACCESO DE ANIMALES EN TRAMOS CON VALLADO PERIMETRAL

Ficha 16: GESTIÓN DE LA VEGETACIÓN DE MÁRGENES Y MEDIANAS

Ficha 17: REFUERZO DE LA SEÑALIZACIÓN DE ADVERTENCIA

Ficha 18: DISPOSITIVOS DISUASORIOS

Ficha 19: SEÑALIZACIÓN DE PANTALLAS TRANSPARENTES Y VALLADOS PARA EVITAR LA COLISIÓN DE AVES

Ficha 20: ADAPTACIÓN DE ARQUETAS, CUNETAS Y OTROS ELEMENTOS QUE PUEDEN CAUSAR MORTALIDAD DE PEQUEÑOS ANIMALES

Recomendaciones específicas para determinadas especies y grupos

Ficha 21: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA TORTUGAS TERRESTRES

Ficha 22: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA MURCIÉLAGOS

Ficha 23: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA MUSTÉLIDOS SEMIACUÁTICOS

Ficha 24: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA OSO PARDO

Ficha 25: RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA LINCE IBÉRICO

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 necesaria para este grupo.
- Con acondicionamientos adecuados puede orientar el vuelo de murciélagos y aves, y facilitar desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan.

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.
- 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.
- Los tramos en los que la vía discurre entre desmontes son los más adecuados para la



GIASA, Junta de Andalucía

ubicación de estas estructuras, ya que los accesos pueden situarse al mismo nivel que el terreno adyacente. Además, teniendo en cuenta que la construcción de estas estructuras requiere el aporte de importantes volúmenes de materiales, pueden 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 los animales causadas por la visión de 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, de arbustos: 0,6 m y de árboles: 1,5 m.

Tipologías constructivas

- Falso túnel, bóveda 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, aunque tienen un coste superior a plantas rectangulares (Figura 1.2).

Acondicionamientos

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 árboles y 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).
- En las revegetaciones se utilizarán exclusivamente especies autóctonas, de la misma región, características de hábitats del entorno y adaptadas a las condiciones de la superficie del ecoducto, que en algunos lugares y períodos pueden ser muy áridas.
- Siempre que sea posible, se utilizarán ejemplares de árboles y 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.
- Si se requieren elementos lineales de separación de usos se recurrirá a setos vegeta-

les, 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 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 ac-

cesos 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 montañosas).
- 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).
- La disposición de grandes bloques de piedra, troncos de árboles, o similar, en los accesos del paso permitirá evitar el acceso incontrolado de vehículos. Una alternativa a este sistema será la instalación de barreras transversales (por ejemplo, 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

- Durante los primeros años son indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación.
- En la parte central de la estructura deben programarse siegas periódicas, con el objetivo de evitar un excesivo desarrollo de la cobertura vegetal. Con menor frecuencia también serán necesarios desbroces en los márgenes arbustivos. El pastoreo controlado de ganado es una opción adecuada para el mantenimiento de la vegetación, aunque deberá garantizarse que no afecta a árboles y arbustos, y que no se produce sobrepastoreo.
- Deberá asegurarse la correcta instalación y mantenimiento del cerramiento perimetral, reparando periódicamente los desperfectos observados.
- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en el ecoducto 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.

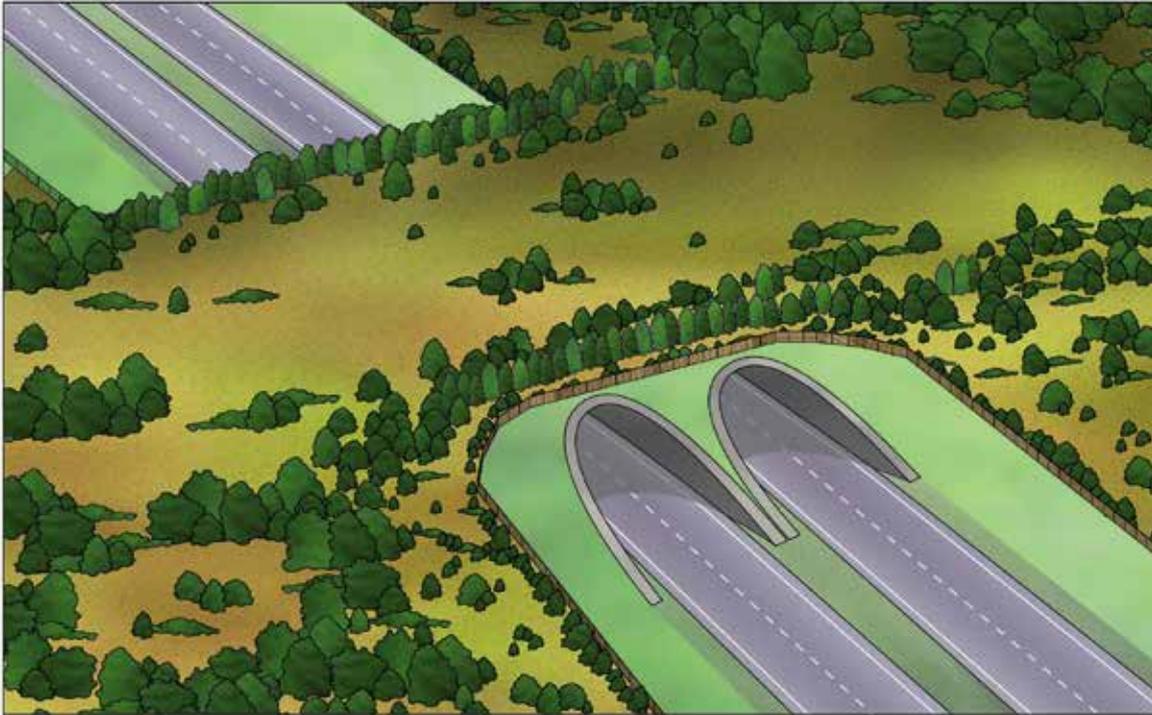


Figura 1.1. Esquema general de un ecoducto.

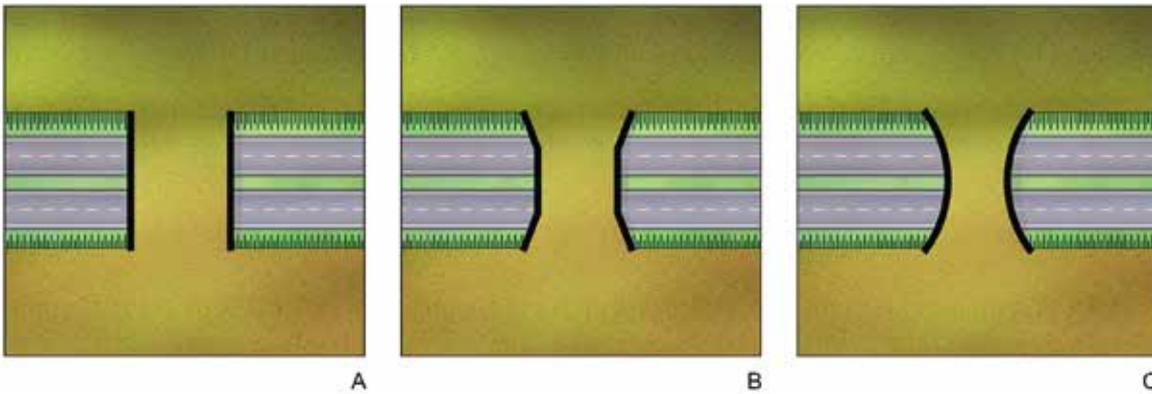


Figura 1.2. Alternativas de planta para el diseño de los ecoductos.



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.

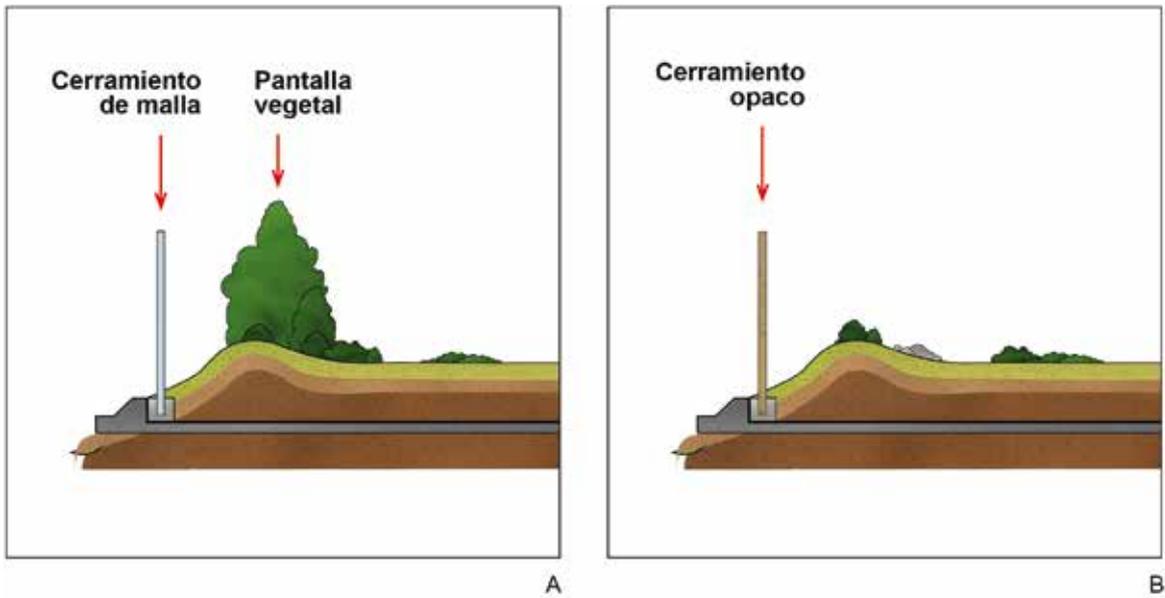


Figura 1.5. Detalles de la sección de un ecoducto que muestran opciones de apantallamiento. En A el cerramiento de malla se completa con una pantalla vegetal densa para reducir las perturbaciones de luz y ruido generado por los vehículos, mientras que en B (más adecuado en condiciones áridas) un cerramiento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



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.



Figura 1.8. Balsa para atraer fauna a los accesos del ecoducto. Foto: H. Bekker.



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 i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya.



Figura 1.11. Dos alternativas de sistemas destinados a impedir la circulación de vehículos, mediante piedras y roncós. 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. Fotos: Javier Cantero y CEDEX.

Especies y grupos referencia

- Ungulados, 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 necesario para este grupo.
- Con acondicionamientos adecuados puede orientar el vuelo de murciélagos y aves, y facilitar desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan.

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 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.



Dirección General de Carreteras, Comunidad de Madrid

- 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, teniendo en cuenta que la construcción de estas estructuras requiere el aporte de importantes volúmenes de materiales, pueden constituir puntos de depósito de excedentes de la excavación.
- Es importante reducir las molestias a los animales causadas por la visión de 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 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.

árboles facilitarán refugio a los animales de menor tamaño en los sectores laterales del paso (Figuras 2.2 y 1.9).

Tipologías constructivas

- La tipología constructiva será similar a la de un ecoducto, de falso túnel, bóveda 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, aunque tienen un coste superior al de las estructuras rectangulares.

Acondicionamientos

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 árboles y 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).
- En las revegetaciones se utilizarán exclusivamente especies autóctonas, de la misma región, características de hábitats del entorno y adaptadas a las condiciones de la superficie de la estructura, que en algunos lugares y períodos pueden ser muy áridas.
- Siempre que sea posible, se utilizarán ejemplares de árboles y 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.
- 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

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 2.5 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 los pasos situados en zonas montañosas; Figura 2.4).
- 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.
- 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 (por ejemplo, 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

- Durante los primeros años son indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación.
- En la parte central de la estructura deben programarse siegas periódicas, con el objetivo de evitar un excesivo desarrollo de la cobertura vegetal. Con menor frecuencia también serán necesarios desbroces en los márgenes arbustivos. El pastoreo controlado de ganado es una opción adecuada para el mantenimiento de la vegetación, aunque deberá garantizarse que no afecta a árboles y arbustos, y que no se produce sobrepastoreo.
- Deberá asegurarse la correcta instalación y mantenimiento del cerramiento perimetral, reparando periódicamente los desperfectos observados.
- Es necesario supervisar la aparición de usos inadecuados en el paso 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 paso se vea reducida.

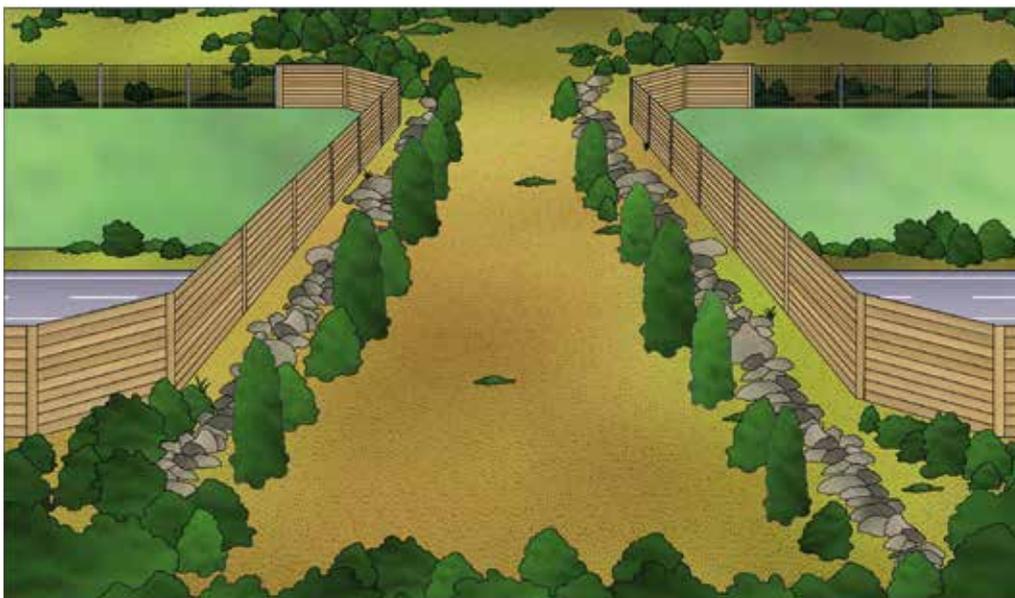


Figura 2.1. Esquema general de un paso superior específico para la fauna.



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



Figura 2.4. Paso situado en un terreno llano, con rampas de acceso con ligera pendiente. Foto: P. Farkas.



Figura 2.5. Las pantallas del paso deben mantener una perfecta continuidad con el cerramiento perimetral de la vía. Foto: C. Rosell.



Figura 2.6. Las pantallas se utilizan en ocasiones como soporte para elementos ornamentales o de información a los usuarios de la vía sobre actuaciones relativas a biodiversidad. Foto: C. Rosell.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 2.7. Aislamiento de la base de la estructura y drenaje de su superficie. Foto: C. Rosell.



Figura 2.8. Circulación motorizada por un paso superior específico para la fauna y pantalla lateral que no es completamente opaca. Foto: C. Rosell.

Especies y grupos referencia

- Ungulados, 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 y aves, y facilitar desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan.

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 la visión de 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 tintado si se requiere mayor durabilidad, en los márgenes laterales de la estructura.



Departament de Territori i Sostenibilitat, 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

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 y aves (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 entre el camino y las pantallas de 2 m de anchura como mínimo (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.
- 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.
- 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 2.5 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 los pasos situados en zonas montañosas; Figura 2.4).
- 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

- En caso de que se revegeten las franjas laterales, durante los primeros años son indispensables los riegos de implantación periódicos para favorecer el establecimiento de la vegetación, y deberán realizarse siegas regularmente.
- Deberá asegurarse la correcta instalación y mantenimiento del cerramiento perimetral, reparando periódicamente los desperfectos observados.

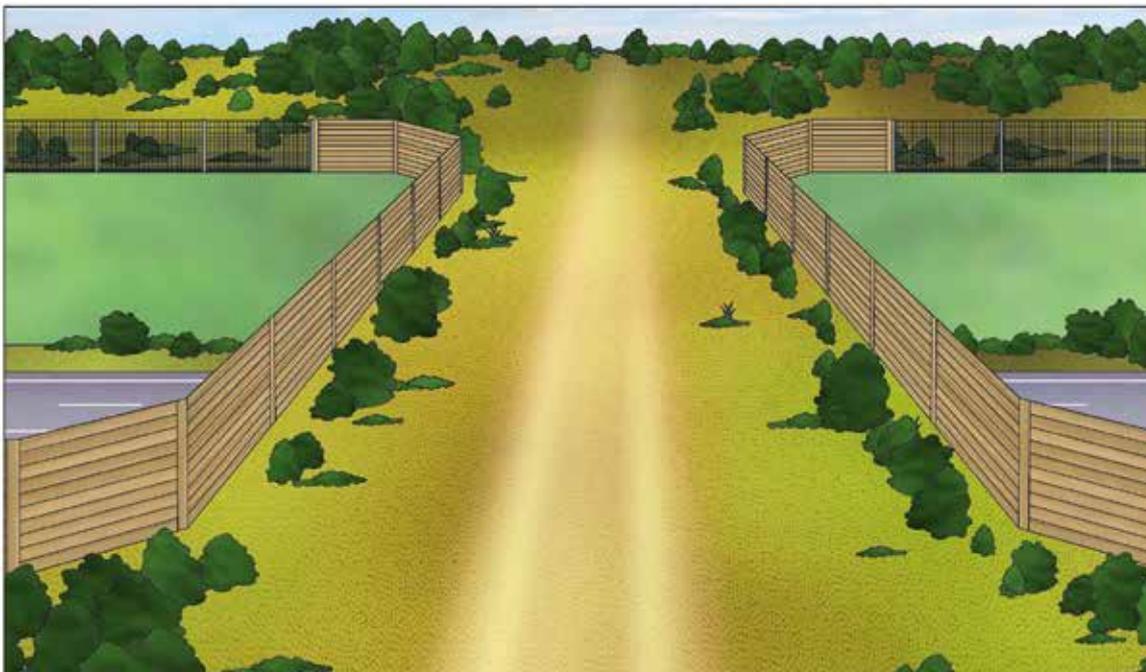


Figura 3.1. Esquema general de un paso superior multifuncional.

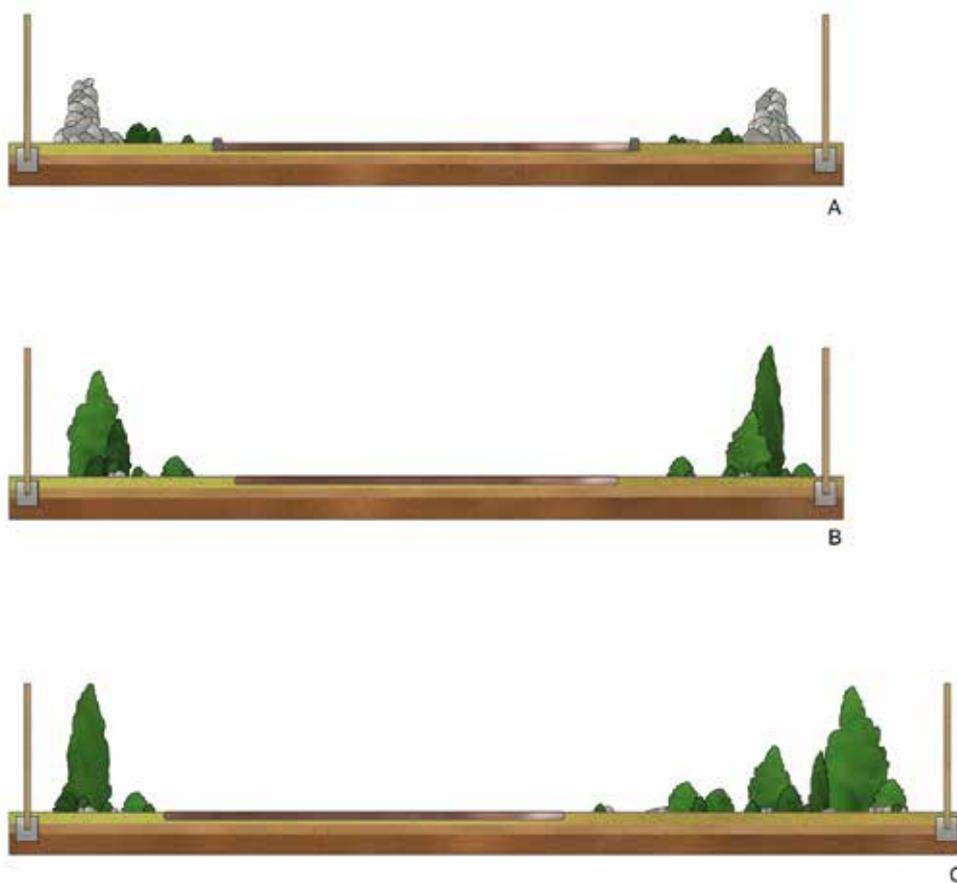


Figura 3.2. Disposición de los caminos y acondicionamiento de márgenes en un paso superior multifuncional. Los caminos se dispondrán en el sector central (A y B) y, en caso de que se disponga de gran anchura, el camino se dispondrá en uno de los márgenes (C). En pasos situados en zonas áridas la vegetación 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).



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 i Sostenibilitat, 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 revegetando 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 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 la mortalidad de ardillas por atropello, 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 la presencia de este roedor sea importante y se hayan detectado tramos de alta concentración de atropellos.
- 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 de 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 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



H-Bekker

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 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 utilizado también por mustélidos como la marta (*Martes martes*). 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.

de los elementos que componen el paso (cuerdas, cables, plataformas, troncos o postes de apoyo) y reemplazar los que estuvieran en mal estado.

Mantenimiento

- Deberán realizarse inspecciones regularmente para evitar un desgaste excesivo



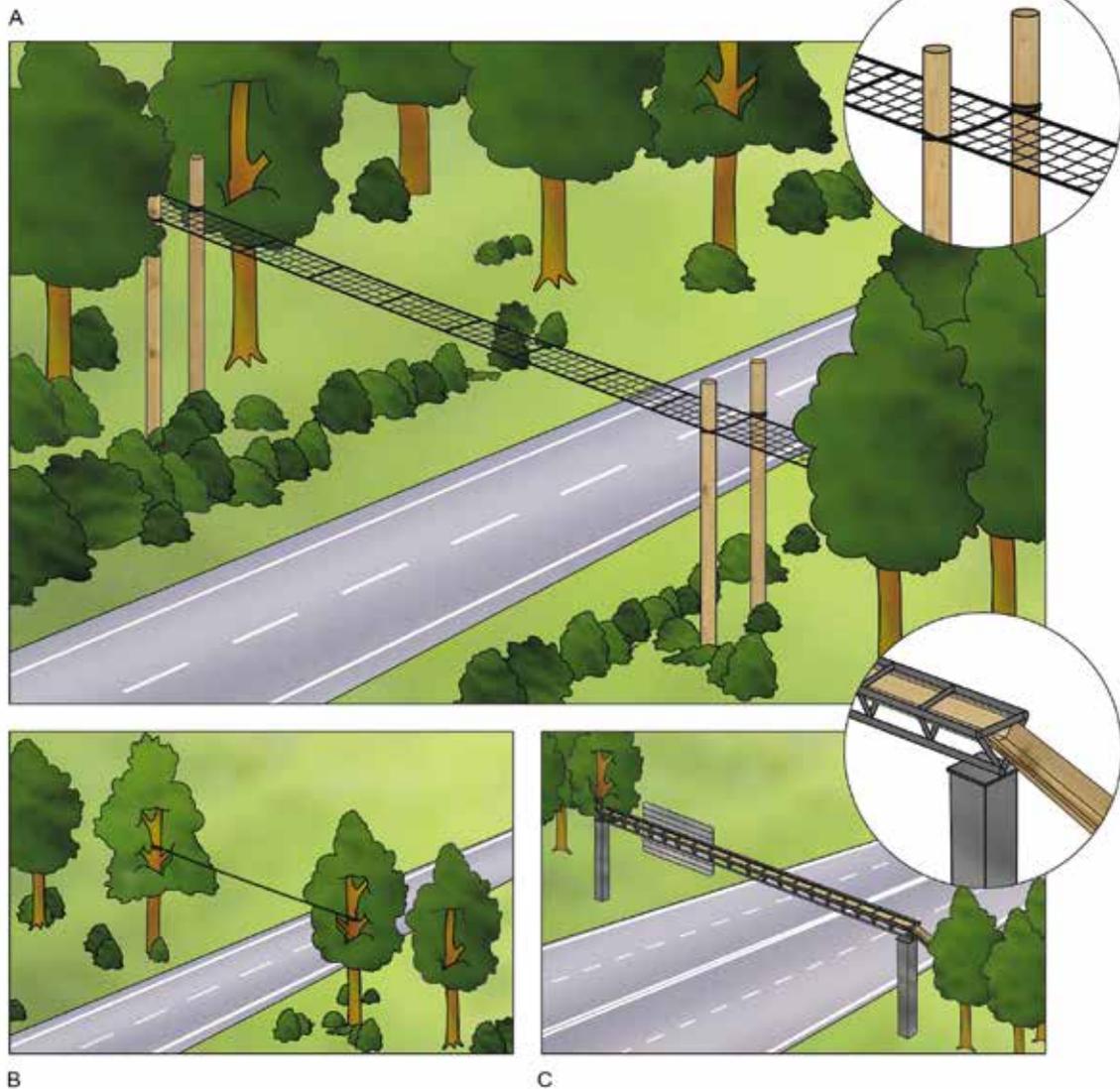


Figura 4.1. Esquemas generales de distintos tipos de pasos entre árboles según la anchura de la vía. A: paso de puente de malla, B: cable entre árboles y C: plataforma para el paso de fauna en soportes de señalización.



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. En zonas con alto riesgo de incendio forestal es indispensable el uso de materiales ignífugos para evitar la propagación de fuego. Foto: Kylie Soanes.

Especies y grupos referencia

- Adecuado para todo tipo de especies (incluyendo ungulados y grandes carnívoros y también la fauna acuática), si bajo el mismo discurre un curso fluvial o vía de 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 que facilita un viaducto.
- 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.
- 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



Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya

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 5.4). 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 5.9).
- 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 la ubicación de trazados de infraestructuras viarias bajo 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 16).
- 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 señalarán adecuadamente para advertir a las aves de su presencia (véase Ficha 19).

Mantenimiento

- 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 su uso como zonas de estacionamiento de maquinaria, de 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, reparando periódicamente los desperfectos observados.

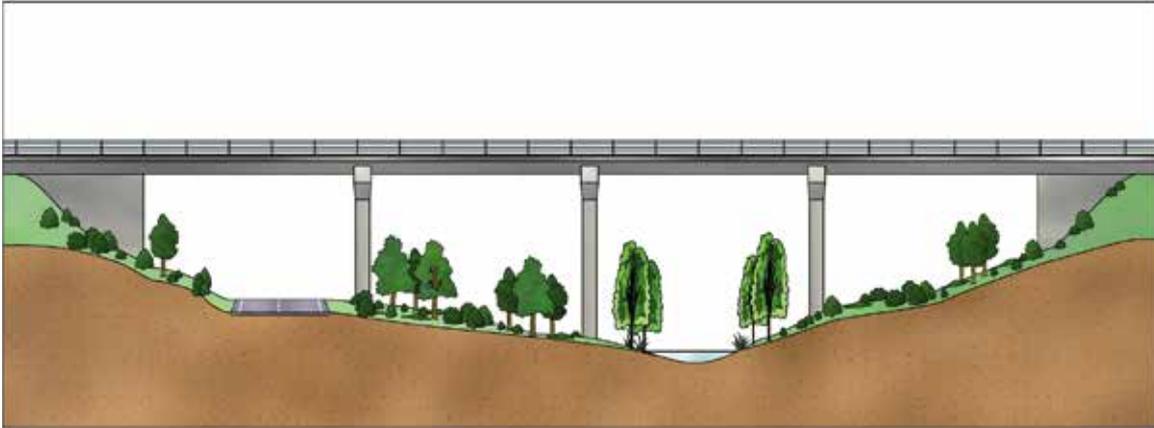


Figura 5.1. Distribución de distintos usos bajo un viaducto: curso fluvial, sectores revegetados que se mantienen secos y ubicación de una carretera en las proximidades de uno de los estribos del viaducto. Las pilas se ubican fuera del cauce fluvial para preservar la continuidad del corredor de ribera. 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.

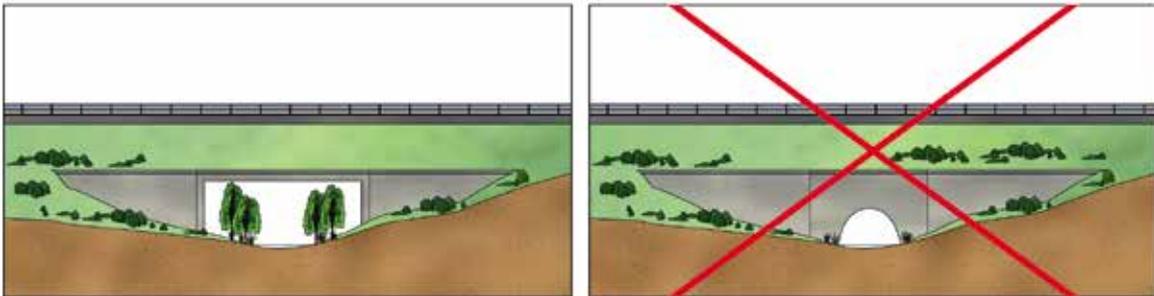


Figura 5.2. Los pórticos y bóvedas son menos adecuadas que un viaducto para el cruce de valles fluviales. En caso de utilizarse este tipo de estructuras deberán dimensionarse de manera que permitan conservar la continuidad de la vegetación de ribera.



Figura 5.3. Viaducto que permite una completa continuidad de hábitats forestales y de ribera. Foto: C. Rosell.



Figura 5.4. 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 5.5. Destrucción completa de los hábitats del cauce durante la fase de construcción. Foto: C. Rosell.



Figura 5.6. Camino de obra que ha interrumpido la continuidad del curso fluvial. Foto: R. Campeny.



Figura 5.7. Mala disposición de las pilas en el interior del cauce. Foto: F. Navàs.



Figura 5.8. Uso inadecuado de los terrenos situados bajo el viaducto. Foto: C. Rosell.



Figura 5.9. Sector bajo un viaducto con cerramiento perimetral en un extenso sector de su longitud, que impide el paso de los animales. Foto: Minuartia.



Figura 5.10. Puente con la superficie hormigonada bajo su luz, que impide la continuidad de la vegetación de ribera. Foto: Minuartia.

Especies y grupos referencia

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

Otros grupos que pueden utilizarlo

- Micromamíferos y reptiles (incluidos camaleones y tortugas). También anfibios, si hay suficiente humedad ambiental y 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 aves, 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 discurre 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.

Dimensiones

- Altura mínima: 3,5 m.



C. Rosell

- 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.
- 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 susttrato natural. Además, los marcos de gran anchura requieren tabiques que separan distintas células 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 son preferibles las 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 tramo central del paso las condiciones no son adecuadas para el crecimiento de la vegetación. 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.

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).
- Se evitará que carreteras transitadas discurren 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 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.
- Los materiales de construcción de las pantallas deberán garantizar una alta durabili-

dad, 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 (por ejemplo, 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

- Deberá asegurarse la correcta instalación y el mantenimiento del cerramiento perimetral para detectar y corregir la aparición de desperfectos.
- Las tareas de mantenimiento deberán incluir el control de los usos inadecuados en el paso y su entorno (por ejemplo, la circulación de vehículos o su uso como depósito temporal de materiales) que dificulten su uso para el paso de fauna, así como la retirada de residuos u otros elementos que lo obstaculicen.



Figura 6.1. Esquema general de un paso inferior específico.

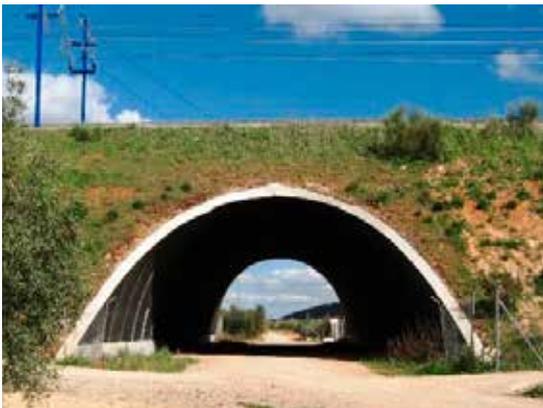


Figura 6.2. Bóveda que permite una gran sección sin tabiques. Foto: ADIF.



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 i Sostenibilitat, 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. Grupo de meloncillos utilizando un paso inferior.
Foto: Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.



Figura 6.8. Ciervo utilizando un paso inferior. Foto: CEDEX. Universidad Autónoma de Madrid.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 6.9. La inundación completa de la base de la estructura dificulta el paso de la fauna. Foto: C. Rosell.



Figura 6.10. El cerramiento no se ha aplicado correctamente a las paredes de la bóveda, permitiendo el acceso de animales a los taludes. Foto: C. Rosell.

Especies y grupos referencia

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

Otros grupos que pueden utilizarlo

- Micromamíferos y reptiles (incluidos camaleones y tortugas). También anfibios, si hay suficiente humedad ambiental y 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 aves, 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 puede 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 los animales podrán 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.
- 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 células 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 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.
- En pasos de grandes dimensiones la distribución puede variar, disponiendo una franja no pavimentada de 2 m en uno de los márgenes reservada al paso de fauna, a continuación el camino destinado a paso de vehículos y, finalmente, otra franja des-

tinada al paso de fauna, que ocupará el resto de la superficie.

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 12.
- 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.
- 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.

Mantenimiento

- Deberá asegurarse la correcta instalación y el mantenimiento del cerramiento perimetral para detectar y corregir la aparición de desperfectos.



Figura 7.1. Esquema general de un paso inferior multifuncional.



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.

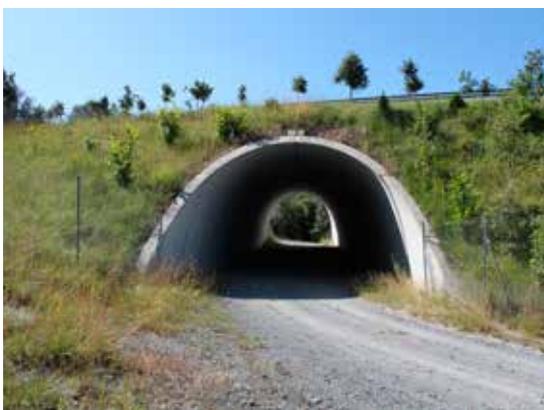


Figura 7.4. El camino sin pavimentar y el cerramiento bien adosado a las aletas favorecen el paso de fauna. Foto: M. Fernández Bou.



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 la estructura, dejando amplias franjas destinadas al paso de fauna.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 7.7. La escollera dificulta el paso de fauna. 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 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 este tipo de estructuras para las especies de murciélagos pequeños y de vuelo ágil y raso, como *Rhinolophus* spp., *Myotis* spp. y *Plecotus* spp. (véase Ficha 22).
- También puede facilitar desplazamientos de perdices y otras aves que apeonan (véase Ficha 22).
- No es adecuado para grandes carnívoros ni para ungulados, aunque 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.
- 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 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 dos franjas laterales secas, una en cada lado de la estruc-

tura, 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 12.
- 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 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.

- 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

- Deberá asegurarse la correcta instalación y mantenimiento del cerramiento perimetral para detectar y corregir la aparición de desperfectos.
- Se programarán limpiezas periódicas para retirar los residuos u otros elementos que obstaculicen el paso.



Figura 8.1. Esquema general de un paso inferior específico para pequeños vertebrados.



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 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, y especialmente para mustélidos semiacuáticos: visón europeo (*Mustela lutreola*) y nutria y para garduña (*Martes foina*) y gineta.

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 3.6) 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., pueden ser adecuadas este tipo de estructuras (véase Ficha 22).

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 coinciden con vaguadas o fondos de valle que canalizan el desplazamiento de muchas especies. Además, en general, se tra-



C. Rosell

ta 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 más información en Ficha 20).
- Todos los acondicionamientos que se realicen en los drenajes deberán garantizar que no se reduce su capacidad hidráulica.

Dimensiones

- Las dimensiones de los drenajes se establecerán en función de los condicionantes hidráulicos. Para su adaptación al paso de fauna se seleccionaran drenajes con una sección mínima de 2 x 2 m (o de 2 m de diá-

metro 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 solo en el caso que vayan destinados a mustélidos (tejón, visón europeo, nutria, etc.).
- 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 pue-

de realizarse canalizando el curso de agua por el centro o por un lateral de la estructura 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.

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 enchachados 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 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 enchachados 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, rejillas u otros elementos para evitar la entrada de restos vegetales u otros objetos en el interior del drenaje puede dificultar o impedir comple-

tamente 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 22.
- 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, para nutria o visón europeo, 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 (Figura 9.2 D). 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 B).

Posibles variaciones a la propuesta base

- Una alternativa a la construcción de banquetas laterales de hormigón es la instalación de plataformas elevadas (por ejemplo, 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 C, 9.5 y 9.6).

Mantenimiento

- Deberá asegurarse la correcta instalación y mantenimiento del cerramiento perimetral para detectar y corregir la aparición de desperfectos.
- Se programarán las tareas de conservación habituales en los drenajes, que incluyen la retirada de residuos, acopios de material u otros elementos que obstaculicen el paso. Estos controles son particularmente necesarios después de períodos de avenidas.

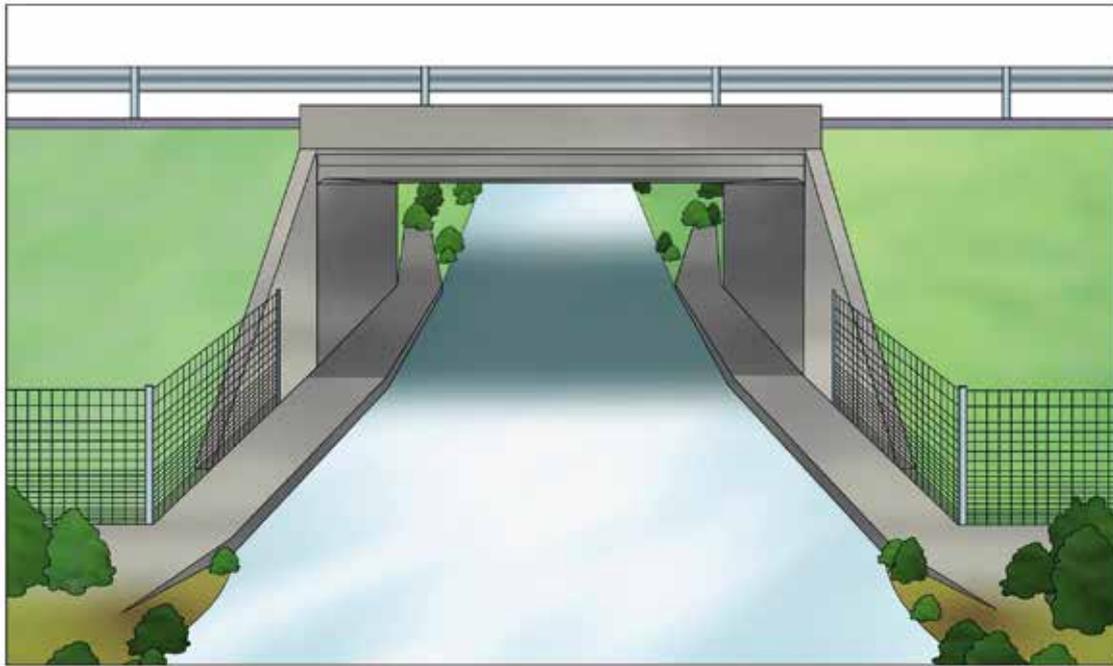


Figura 9.1. Esquema general de un drenaje adaptado para animales terrestres.

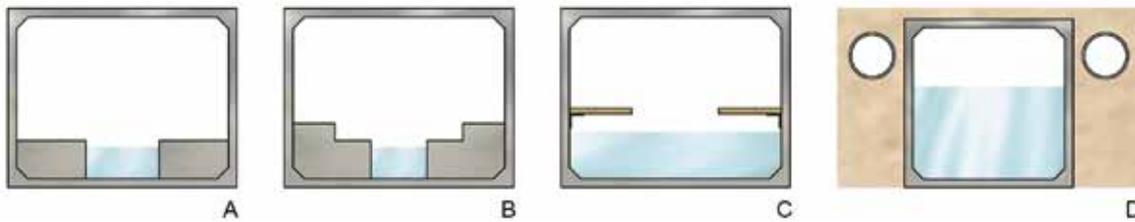


Figura 9.2. Distintas secciones transversales de drenajes que permiten mantener plataformas secas. Las banquetas de hormigón pueden ser de diversas alturas si se prevén importantes variaciones del nivel del agua (B). Las plataformas (C) permiten adaptar drenajes sin reducir su sección hidráulica. La opción D no es recomendable para su uso general; sólo es aplicable para favorecer el paso de visón europeo y nutria.



Figura 9.3. Rampa 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 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 permita mantener 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 una profundidad de la lámina de agua, velocidad y turbulencia del agua, una anchura y una 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 abierta (puentes o bóvedas) que permitan mantener el sustrato natural o, si se trata de elementos de sección cerrada (marcos



M. Fernández Bou

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.

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 las capacidades de salto y natatoria de las diferentes especies, pero también de la condición física y talla de los peces. Las especies con mayores capacidades natatoria y de salto son los

salmónidos, 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 se encuentran el espinoso (*Gasterosteus aculeatus*), el bleño de río (*Salvia 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 (construcción de 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

- 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 ictofauna.

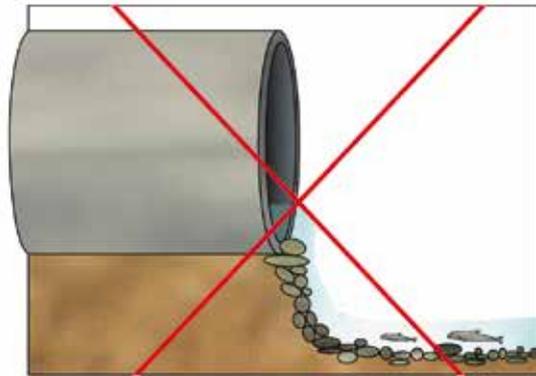
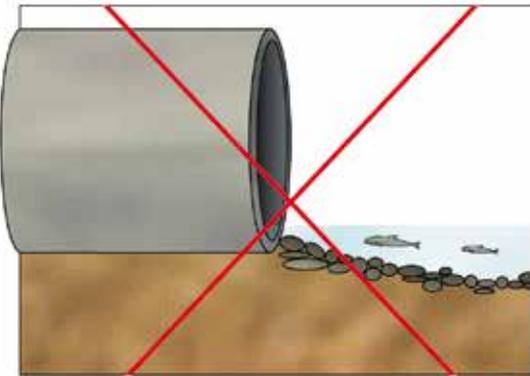
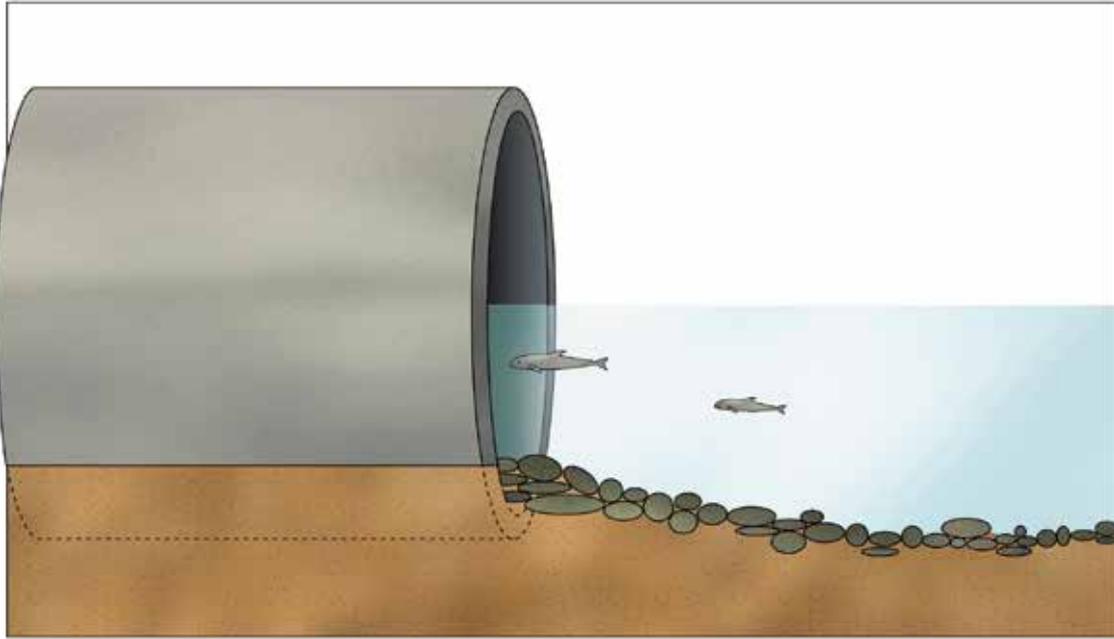


Figura 10.1. En la parte superior, adaptación de un drenaje para facilitar el paso de fauna. En la parte inferior, dos alternativas que dificultan el remonte de los peces debido a la poca altura de la lámina de agua o al importante desnivel.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 10.2. Drenajes situados en un badén que dificultan el paso de peces. Foto: F. Navàs.



Figura 10.3. Escalón en el interior del drenaje que supone un obstáculo para el movimiento de fauna acuática. Foto: J. Dufek.



Figura 10.4. Desnivel excesivo que solo pueden superar los ejemplares adultos con mejor condición física. Foto: J. García Molinos.



Figura 10.5. Socavación de la base de la estructura que ha generado un desnivel insalvable para la fauna acuática. Foto: M. Clavero.

Especies y grupos 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 (Figura 11.1).
- 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 en una determinada dirección y 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.
- Los tramos problemáticos se permeabilizarán instalando una batería de pasos ade-



J. Niederstrasser

cuados para anfibios, entre los cuales se instalará un cerramiento de guía hacia los pasos que reúna las características específicas que requieren estos animales.

Dimensiones

- La anchura del paso aumentará con su longitud.

Longitud del paso (m)	<20	20-30	30-40	40-50
Ancho x Alto (m)	1 x 0,75	1,50x1	1,75 x 1,25	2 x 1,50

- Distancia máxima entre los pasos: 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.

Tipologías constructivas

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

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 estará constituida por una pequeña valla de 40 cm de altura, de hormigón, madera tratada u otro material opaco. No son aplicables los cerramientos de malla convencionales, ni aun 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 no presentan tantas facilidades para 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.

- En las intersecciones con caminos, se deberán instalar rejas transversales a estos con el objetivo de evitar que los anfibios accedan a la calzada. Este sistema debe cubrir toda la anchura del camino y con una longitud superior a los 40 cm (para evitar que pueda ser saltado por los anfibios) y la separación entre los elementos que la conformen debe ser como mínimo de 6 cm (para evitar que los animales queden atrapados). Los ejemplares que caigan entre los huecos de las rejas deberán poder salir por los laterales y desplazarse siguiendo las estructuras de guía hacia los pasos habilitados. Para ello, se ejecutará rampas de escape con pendientes máximas de 45° (véase Ficha 20).
 - 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. 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 para orientar a los animales de nuevo hacia el medio natural en caso de que se desplacen en sentido opuesto a los pasos.
- ### 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 rejas. No obstante, no existen resultados concluyentes sobre la

influencia de este aspecto en la efectividad del paso.

- Otro diseño de paso de anfibios son los pasos unidireccionales, pero presentan múltiples problemas que deben valorarse antes de su aplicación. Consisten en la construcción de zanjas de captación paralelas a las vías, en las que los anfibios caen y de las que solo tienen la opción de salir utilizando pasos cuyos accesos se ubican en el interior de la zanja. Estos pasos tienen pendiente hacia el extremo contrario para favorecer el avance de los animales y su salida se sitúa a un nivel inferior al de la zanja de captación del margen opuesto. Entre los problemas que se han identificado en este tipo de pasos destaca el riesgo de que las zanjas de captación se conviertan en trampas en las que quedan atrapados animales de especies de pequeño tamaño, particularmente invertebrados. Además, es indispensable, si se opta por estos sistemas, que se instalen barreras de seguridad en los márgenes de las vías en el tramo afectado, para garantizar la seguridad vial.

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

- Debido a la periodicidad 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 recogidos y 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 que impedirán el avance de los anfibios hacia las calzadas de las vías y los dirigirán hacia los cubos de recogida 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 ella. 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. 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 control y 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

- En las estructuras permanentes deberá asegurarse la correcta instalación y mantenimiento del vallado de guía para detectar y corregir la aparición de desperfectos.
- Se programarán tareas de mantenimiento periódicas para retirar los residuos, acopios de material u otros elementos que pudieran obstaculizar los pasos.

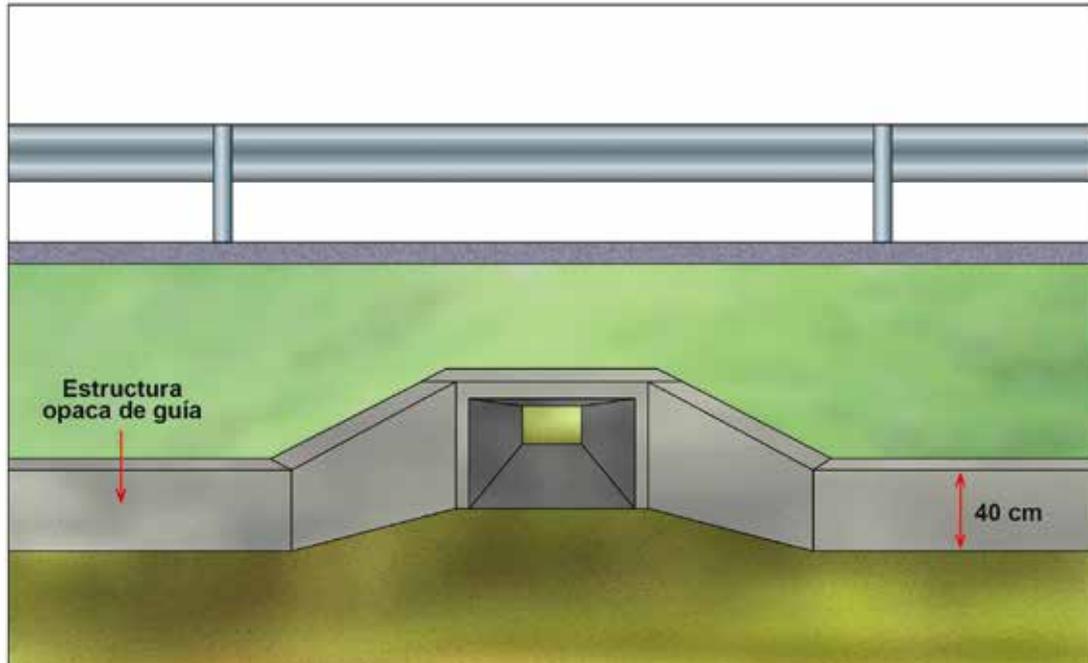


Figura 11.1. Esquema general de un paso para anfibios.



Figura 11.2. 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 11.3. Paso de anfibios con estructura de guía formando embudo. Foto: GIASA.



Figura 11.4. Paso de anfibios y estructura de guía constituidos por elementos prefabricados. Foto: M. Puky.



Figura 11.5. Cerramiento opaco de hormigón que constituye una óptima estructura de guía. Foto: C. Rosell.



Figura 11.6. Estructura opaca de metal aplicada a un cerramiento perimetral para guiar los anfibios a los pasos. Foto: CEDEX.



Figura 11.7. Cerramiento que conduce a los anfibios hacia un paso de fauna en construcción. Foto: Javier Cantero.



Figura 11.8. Barrera temporal que se combina con cubos de recogida. Foto: Oficina de Medio Ambiente, Universidad de Vigo.



Figura 11.9. 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 11.10. Desajuste entre la estructura de guía y el acceso al paso para anfibios. Foto: C. Rosell.



Figura 11.11. Discontinuidad entre distintos tramos de la vallas de guía. Foto: F. Navàs.



Figura 11.12. Las zanjas de recogida de anfibios que los conducen a entradas de pasos ubicadas en su interior, constituyen trampas para animales de pequeño tamaño. Foto: C. Rosell.



Figura 11.13. Las mallas de alambre galvanizado no son aplicables porque los anfibios intentan trepar por ellas. Foto: R. Campeny.

Especies y grupos 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 caudal 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 y murciélagos 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 sea compatible 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 (por ejemplo, vallados de fincas).

Plantaciones y refugios para fauna en la superficie de los pasos

- 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



C. Rosell

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.
- 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.
- 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 22).
- 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 12.5 y 2.1).
 - 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 12.5 y 2.1).
 - 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 (Figuras 2.1 y 2.2).
 - 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.

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 13 y 14).

- 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 eviten 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 expropia-

ción de una superficie de terreno superior o, como alternativa, establecer acuerdos de custodia con los propietarios de los mismos.

- 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 1.11). La creación de pequeñas balsas en las proximidades de los accesos al paso es un recurso aplicado para atraer a la fauna hacia ese punto (Figura 1.8). No obstante, es poco viable en zonas de clima mediterráneo o continental con períodos de considerable sequía.

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.

- 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 o lianas que conecten 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 en los márgenes de la vía para prevenir el crecimiento de vegetación puede reducir las necesidades de mantenimiento.

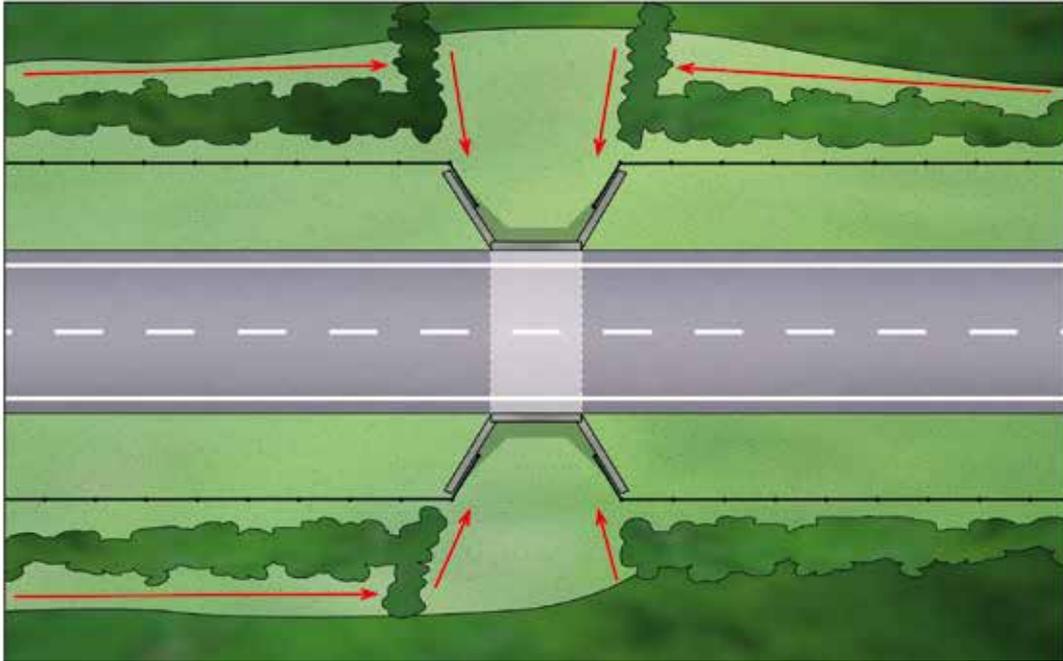


Figura 12.1. Esquema de distribución de las vegetaciones en los accesos a los pasos de fauna.



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: Mi-nuartia.



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 re-vegetaciones facilitan la conducción de la fauna hacia el interior de la estructura. Foto: P. Robles.



Figura 12.6. Correcta instalación del cerramiento perimetral. 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 hasta la calzada facilita la conducción de los animales hacia esta, aumentando la probabilidad de atropello. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos referencia

- Ungulados y grandes carnívoros. Si la malla está correctamente instalada y es suficientemente densa en la base también impedirá el paso de carnívoros de talla media, como el zorro o el tejón (*Meles meles*).
- 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 14).

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 (Figura 13.3).
- 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 requiere un análisis particular de cada situación y de los usos del suelo en los terrenos adyacentes a la vía.
- Con carácter excepcional puede requerirse la instalación de dispositivos de escape para facilitar la salida de animales que ha-



Dirección General de Carreteras, Comunidad de Madrid

yan conseguido entrar en tramos vallados. En este caso hay que considerar el riesgo de que debido al uso de dispositivos inadecuados, o a causa de un mantenimiento deficiente, constituyan puntos de entrada de animales (véase Ficha 15).

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 alta concentración de colisiones o atropellos al final del tramo vallado, el cerramiento deberá conducir a los animales hacia pasos de fauna o puntos de cruce seguros (viaductos, túneles, pasos inferiores o superiores, etc.). Es particularmente importante que los extremos del tramo vallado conduzcan directamente a una de estas estructuras.
- 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 17). Aun así hay que tener en consideración el riesgo de que esta actuación pueda generar un punto negro de accidentes causados por ungulados en los extremos del tramo vallado.

Tipo de malla e instalación del cerramiento

- El cerramiento se realizará preferiblemente con malla anudada rectangular de alambre galvanizado y de densidad progresiva o con malla de torsión. Los postes de tensión serán de acero galvanizado.
- La instalación de la malla 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. Es preferible enterrar la base de la malla, indispensable para garantizar la efectividad del cerramiento en zonas con abundancia de jabalí.
- En los puntos de unión del cerramiento con los accesos a pasos de fauna, viaductos, etc., los postes de sujeción de las mallas debe estar correctamente aplicados a las aletas o a los estribos de las estructuras (Figuras 12.1 y 12.6).
- Los puntos en los que se produce la intersección 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 13.9).

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. 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 5-15 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. 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.

Recomendaciones específicas para algunas especies

Refuerzos para jabalí

- En sectores en los que se produzcan levantamientos de la malla existente, es posible corregir los problemas instalando refuerzos en la base del cerramiento. Si el jabalí es la especie causante del problema, puede aplicarse un refuerzo específico consistente en la instalación de malla electrosoldada, rígida, con rectángulos de 5 cm de ancho por 30 cm de alto. Esta malla se enterrará en su base o se hincará en el suelo mediante púas constituidas por los propios elementos verticales de la malla, y tendrá una altura de 40-50 cm por encima del nivel del terreno (Figuras 13.5 y 13.6)
- Los refuerzos se colocarán por la parte exterior del cerramiento y se anclarán a la malla existente.

Vallado específico para oso

- En el caso de los osos, los cerramientos convencionales para grandes mamíferos

pueden no ser suficientes. En tramos que se prevean especialmente conflictivos se deben aplicar cerramientos específicos para oso. Un tipo de malla que se ha mostrado efectiva es la de malla de triple torsión de 8 x 10 cm de luz, 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 malla de 1,5 m de ancho, enterrado en la parte exterior del cerramiento para evitar que los osos excaven por debajo (Figura 13.7). Los postes de sujeción deben ser también reforzados (60 mm de diámetro y 4 mm de grosor).

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 de torsión o electrosoldada, que deberán alcanzar una altura de 2-2,5 m por encima del nivel del terreno. La parte basal estará enterrada, y con el extremo terminal formando un ángulo de 45° hacia el exterior de la vía, como en el caso del oso (Figura 13.8).

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, 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.

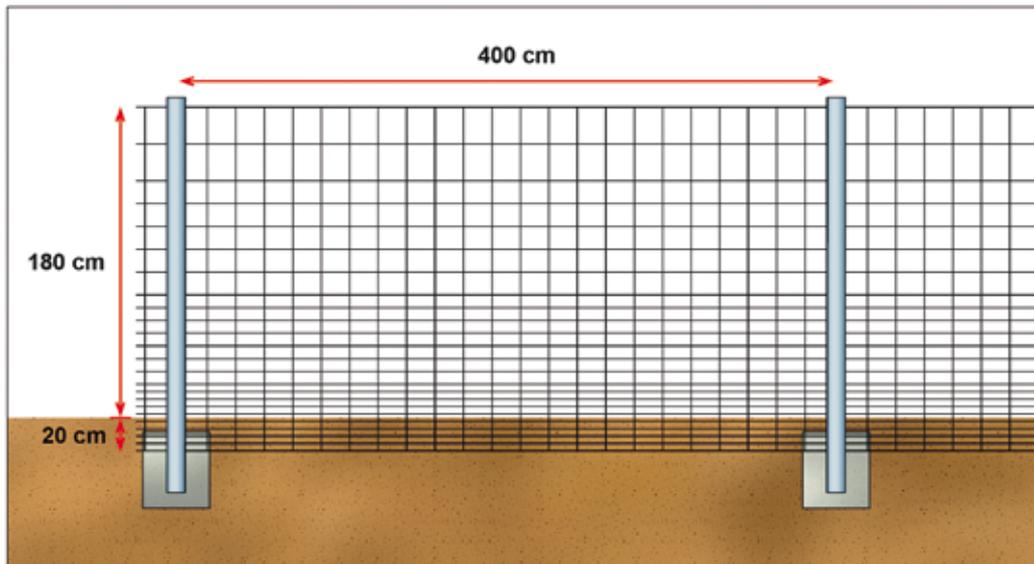


Figura 13.1. Esquema general del cerramiento perimetral para grandes mamíferos.



Figura 13.2. Instalación del cerramiento en la base de un terraplén. Foto: F. Navàs.



Figura 13.3. El cerramiento conduce los movimientos de los animales hasta localizar los pasos. Foto: C. Rosell.

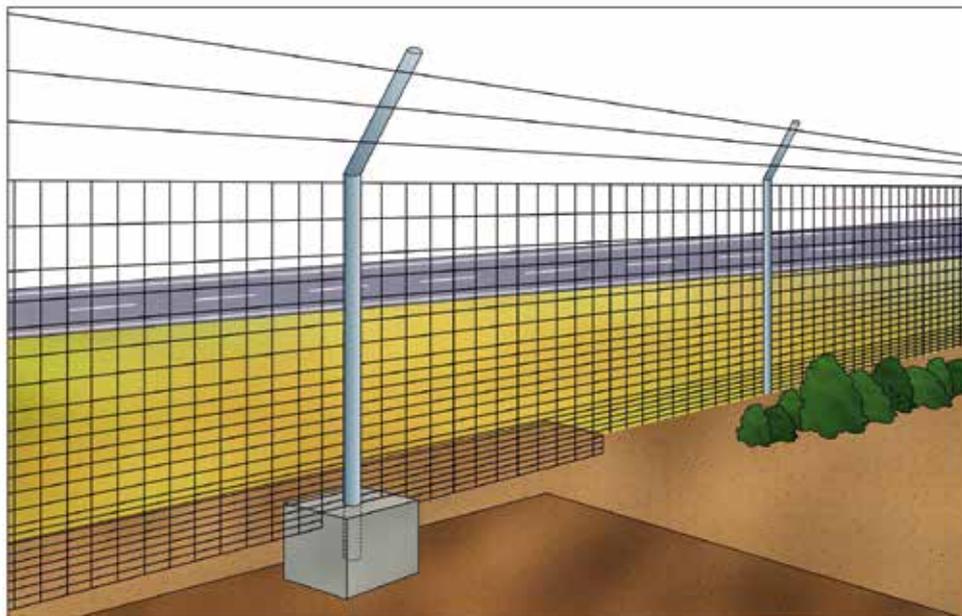


Figura 13.4. El cerramiento puede prolongarse mediante postes terminados en ángulo hacia el exterior y alambres de acero galvanizado. Siempre es preferible que la base de la malla esté enterrada.



Figura 13.5. Refuerzo para jabalí en un tramo del vallado especialmente conflictivo. Foto: Túnel Barcelona-Cadix.



Figura 13.6. Detalle del refuerzo de malla electrosoldada. Foto: C. Rosell.

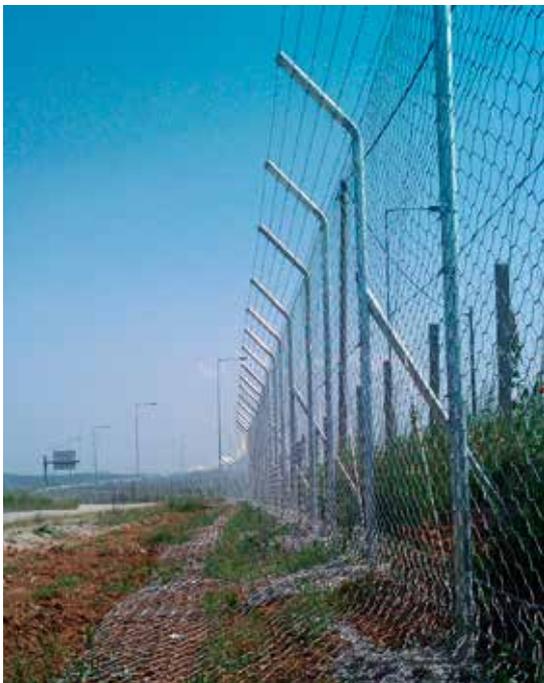


Figura 13.7. Vallado específico para oso, con visera superior y faldón inferior (antes de ser enterrado). Foto: L. Georgiadis.



Figura 13.8. Cerramiento específico para lince ibérico. Foto: Agencia de Obra Pública. Junta de Andalucía.



Figura 13.9. 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.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 13.10. La malla debe conducir al paso sin dejar zonas abiertas de acceso al talud. Foto: C. Rosell.



Figura 13.11. Malla sin enterrar que ha sido levantada por los animales. Foto: F. Navàs.



Figura 13.12. La falta de mantenimiento facilita la entrada de animales en las vías. Foto: F. Navàs.



Figura 13.13. Ajuste deficiente entre la valla y la aleta del paso. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos referencia

- Pequeños y medianos mamíferos como el erizo (*Erinaceus europaeus*), mustélidos, etc. y algunos reptiles, especialmente las tortugas.
- No es adecuado para los anfibios que requieren otro tipo de cerramientos específicos (véase Ficha 11).

Características y prescripciones básicas

- La malla anudada rectangular que se aplica en cerramientos perimetrales para grandes mamíferos (véase Ficha 13) 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 especialmente 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 mamíferos. Deberán instalarse en su parte exterior y anclados a la malla convencional (Figura 14.1).
- La instalación del cerramiento deberá realizarse 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, preferiblemente, con malla electrosoldada rígida y con postes de tensión de acero galvanizado. Para algunas especies, como la nutria, tam-



C. Rosell

bién pueden aplicarse mallas de torsión, pero son menos recomendables porque se deforman con mayor facilidad.

- La instalación de la malla se realizará enterrando 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 impedir que los animales que intenten trepar puedan continuar su ascenso por la malla.
- 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 (Figuras 12.1 y 12.6).
- Los puntos en los que se produce la intersección 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 13.9).
- Si el vallado discurre por zonas de alto interés para las aves esteparias como la avutarda (*Otis tarda*) es recomendable señalar la parte superior con marcas visibles para evitar la mortalidad de aves por colisión (véase Ficha 19).

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 enterraran 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 un experto, 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.

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.
- 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, el problema lo genera su facilidad para trepar, llegando a franquear con este sistema vallados de más de 2 m de altura. Para esta especie 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 (2 m) reforzada tanto por la parte superior (visera de 30 cm con un ángulo de 45° hacia el exterior de la vía).
- El conejo es una especie particularmente problemática, debido a su extraordinaria capacidad para excavar. 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 enterrar 40 cm de la base del vallado en forma de L (20 cm en vertical y los 20 cm del extremo inferior doblados en horizontal hacia el exterior del vallado).
- Para reducir el riesgo de mortalidad de murciélagos 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, véase Ficha 22). 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 5,5 x 5,5 cm de luz, instaladas en los bordes de la plataforma y a ambos lados de la misma (Figura 14.4). 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 14.5), 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 13) 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.

- El camaleón, un reptil de distribución muy localizada, muestra también una notable capacidad para superar las vallas, sea trepando o excavando. Los camaleones requieren que el cerramiento, que será de 60 cm de altura, sea de un material completamente liso, ya que pueden trepar por las mallas o por superficies rugosas. 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, 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.

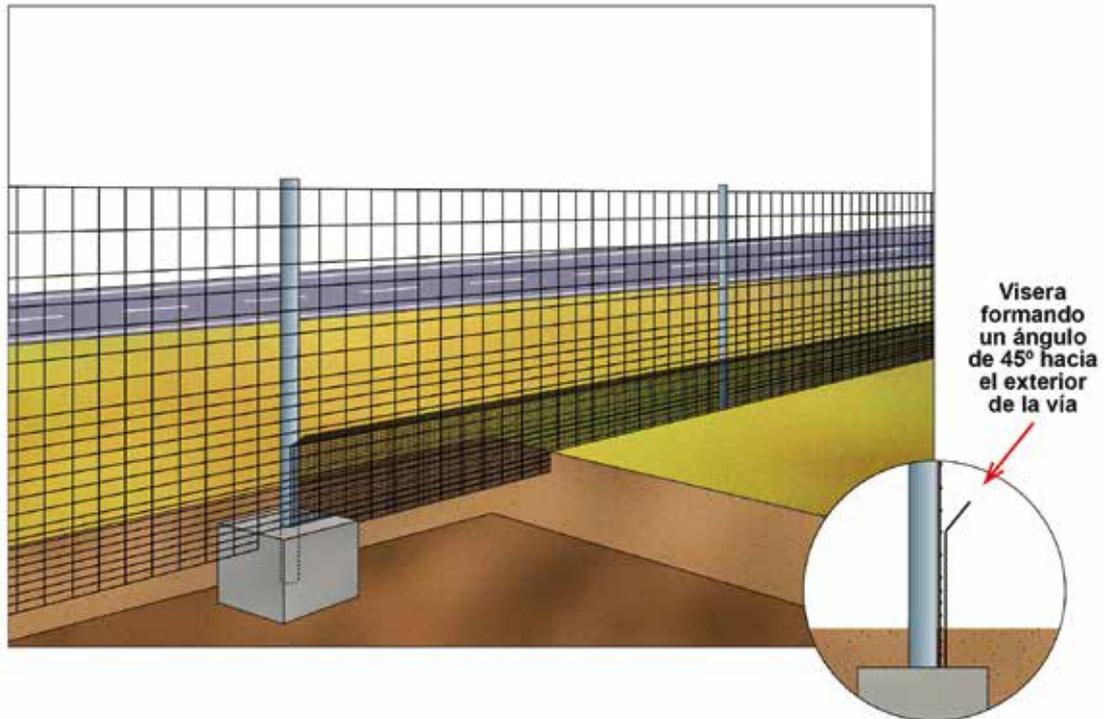


Figura 14.1. Esquema de instalación de una malla de refuerzo para impedir el paso de pequeños vertebrados, adosada a la base de un cerramiento para grandes mamíferos.



Figura 14.2. Instalación de un refuerzo en la parte exterior de la malla convencional. Foto: C. Rosell.

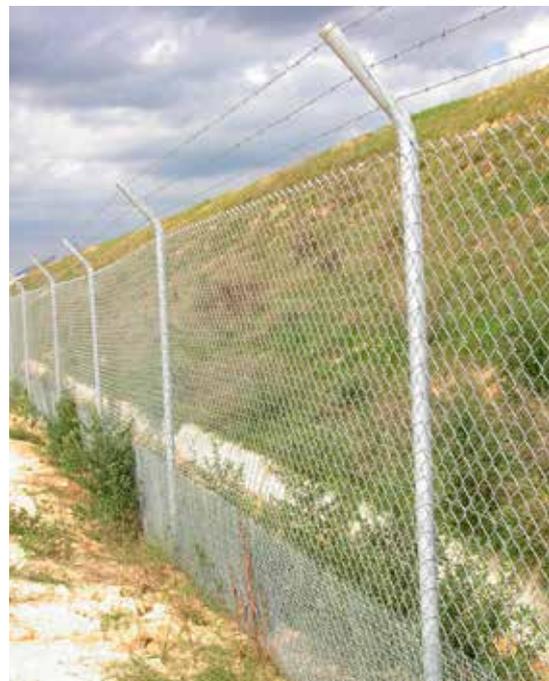


Figura 14.3. Cerramientos que combinan prolongación para impedir el salto de cérvidos y refuerzo basal para pequeños vertebrados. Foto: M. Fernández Bou.



Figura 14.4. Cerramiento anticolidión para murciélagos de 5 m de altura y malla de simple torsión en una línea de alta velocidad. Foto: ADIF.



Figura 14.5. Estructura de red de poliamida en forma de túnel para prevenir la colisión de murciélagos en una carretera, cuya evolución no ha aportado todavía resultados concluyentes. Foto: M. Fernández Bou.

Especies y grupos referencia

- Ungulados, algunos carnívoros u otros táxones.

Sistemas de escape

- 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 entre el vallado, cabe considerar la posibilidad de instalar sistemas que permitan que estos animales puedan retornar a la parte exterior de la vía, siempre que se pueda garantizar que no constituirán puntos de entrada a la misma a causa de un inadecuado diseño o conservación. Su óptima ubicación será muy importante.
- Los sistemas más recomendables son rampas de tierras compactadas. Consisten en la acumulación de materiales adosados en los márgenes de la parte interior del cerramiento, formando una rampa que alcance la altura de la malla. 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. 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.
- Hay otros sistemas de rampas más complejos, como el que se muestra en las Figuras 15.1, 15.2 y 15.5, en los cuales las rampas se construyen a partir de paredes laterales de madera tratada, que se rellenan con tierras y se revegetan. Estos sistemas son los más comúnmente aplicados para ungulados en países del centro de Europa, aunque requieren una notable inversión para su conservación.
- Otro método que se aplica para facilitar el escape de animales 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 mue-



H. Bekker

lles, que se abren cuando el animal ejerce ligera presión desde el interior, como la que se muestra en la Figura 15.4, se utiliza para facilitar la salida de tejones atrapados en tramos vallados en algunos países como los centroeuropeos. En España en los últimos años ha proliferado el uso de variados modelos de estos dispositivos cuya efectividad no ha sido contrastada y que con frecuencia no son funcionales a causa de déficits de conservación.

- En general, se desaconsejan totalmente los dispositivos complejos y metálicos (puertas basculantes y portillos de escape, que se han recomendado en algunos manuales), ya que con frecuencia se oxidan quedando inservibles, o, permanecen abiertos constituyendo puertas de acceso al interior de tramos vallados (Figuras 15.10 y 15.11). Estas deficiencias comportan que el cerramiento perimetral pierda su funcionalidad.

Prevención de la entrada de animales por caminos de acceso a carreteras convencionales

- En los tramos con cerramiento perimetral, la entrada de animales a la plataforma de circulación puede realizarse a través de caminos de acceso. Los llamados pasos canadienses son una posible solución (Figuras 15.6 y 15.7). Estas estructuras, que normalmente se utilizan para evitar la salida de ganado en fincas cercadas, consisten en una fosa transversal al camino de unos 30 cm de profundidad, cubierta con rejas,

tubos o barras metálicas, preferentemente móviles. La longitud de la fosa variará en función de las especies de ungulados presentes en la zona, pero se recomienda un mínimo de 2 m en general y de 3 m en el caso del ciervo. No deben quedar espacios que permitan el paso de animales entre el final del cerramiento y el paso canadiense. Para permitir la salida de los animales de pequeño tamaño que caen en las fosas, las paredes de sus extremos laterales debe estar construidas con una pendiente de 30° (o de hasta 45° como máximo) y presentar una superficie rugosa o presentar aperturas laterales (Figura 15.8).

- Como alternativa a los pasos canadienses, en accesos de caminos a fincas privadas

con poco tránsito se puede optar por la instalación de puertas, adecuadamente instaladas dando continuidad al cerramiento, y de la misma altura que este.

- 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 integrándose en el aglomerado de la vía (Figura 15.9). Estas placas integran una malla metálica electrificada alimentada por paneles solares, y cuando un animal pisa la placa recibe una descarga eléctrica que lo obliga a retroceder. Estos dispositivos han probado su eficacia para osos y ciervos en Estados Unidos.



Figura 15.1. Rampas diseñadas para permitir la salida de corzos desde el interior de un tramo vallado. Foto: C. Rosell.



Figura 15.2. Otra visión de una de las rampas en la que se aprecia su disposición respecto a la malla de cerramiento. Foto: C. Rosell.



Figura 15.3. Sistema de escape consistente en tierras que forman una rampa, visto desde el interior de la vía. Foto: H. Bekker.



Figura 15.4. Puerta de escape para tejón. Foto: Minuartia.



Figura 15.5. Rampa de escape. A la izquierda, vista desde el interior, durante el proceso de construcción, y a la derecha, desde el exterior, una vez finalizada. Véase en esta la eliminación de la malla en la parte superior de la rampa, para facilitar el salto animal. Foto: Agencia de Obra Pública. Junta de Andalucía.



Figura 15.6 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.



Figura 15.7 Pasos canadienses. En el caso de presencia de grandes cérvidos pueden instalarse franjas más largas que dificulten el salto. Foto: C. Rosell.



Figura 15.8 Paso canadiense con una apertura lateral que permite la salida de los pequeños animales que pudieran caer en su interior. Foto: Ministerio de Fomento.



Figura 15.9. Placa electrificada para impedir la entrada de animales a través de una vía de acceso pavimentada. Foto: C. Rosell.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 15.10. El diseño de este portillo de escape para ungulados posibilita que se mantenga completamente abierto permitiendo el libre acceso de animales (y personas) al interior del vallado. Fotos: F. Navàs.



Figura 15.11. Puertas basculantes de escape para medianos carnívoros que quedan entreabiertas a causa de la oxidación de las bisagras y posibilitan la entrada de animales al interior del vallado. Fotos: F. Navàs.

Especies y grupos 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, y de las características del paisaje del entorno, por lo cual se requiere criterio experto para concretar el diseño de las actuaciones. No obstante, es recomendable en todos los casos que uno de los criterios aplicados al diseño de revegetaciones, y en general a la gestión de márgenes de las vías, sea la de reducir el riesgo de atropellos de fauna y de siniestralidad causada por irrupción de animales en las vías.
- 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, este 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.
- Para reducir el riesgo de accidentes causados por mamíferos de gran tamaño, como cérvidos o jabalíes, también 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



R. Campeny

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— se recomienda para vías convencionales y ferrocarriles sin cerramiento 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 afectadas, 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 con-

- centración 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 durante los meses con mayor riesgo de siniestros (véase Ficha 17).
- 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.
 - Entre las especies que se ha constatado que proliferan en taludes y medianas destacan los conejos y topillos, llegando incluso a comportar riesgos de estabilidad en la infraestructura a causa de la extensión de sus huras o madrigueras. En estos casos es aconsejable instalar cerramientos con refuerzos adecuados (véase Ficha 14) y diseñar hábitats poco atractivos en los márgenes.
 - En plantaciones de los márgenes de la vía en zonas mediterráneas con alto riesgo de incendio forestal se atenderá a este aspecto favoreciendo la plantación de 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.
 - Se debe evitar el uso de productos fitosanitarios tanto a lo largo de carreteras como de vías férreas, aplicando el principio de cautela, en atención 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. Como alternativa se recomienda el uso de métodos mecánicos o que con seguridad no conlleven el uso de químicos que puedan ser tóxicos para la fauna.



Figura 16.1. 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 16.2. Mediana de separación de carriles sin vegetación que puede ser adecuada en tramos en los que la proliferación de topillos u otras presas atraen a rapaces o carnívoros acarreado un aumento del riesgo de atropellos. Foto: C. Rosell.

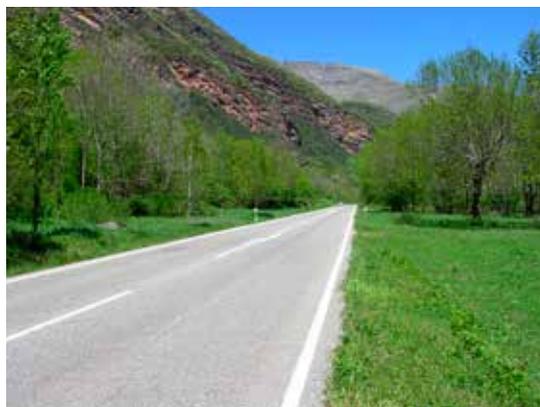


Figura 16.3. Márgenes desbrozados para reducir los refugios para animales en la zona adyacente a la calzada. Foto: F. Navàs.

Características y prescripciones básicas

- Se trata de una medida destinada a alertar a los usuarios de las vías de la alta probabilidad de cruce de fauna silvestre por la calzada, para que reduzcan su velocidad de circulación. Esta medida es aplicable a vías convencionales que no cuenten con cerramiento perimetral. En vías de alta capacidad que cuenten con cerramiento perimetral, debe ser esta medida, combinada con pasos de fauna adecuados, la que contribuyan a evitar que se produzcan atropellos de animales.
- 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 se recomienda utilizar señalización especial para reforzar el mensaje de advertencia. 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.
- En los tramos en los que se haya detectado un alto índice de accidentes causados por fauna silvestre se puede reforzar la señalización de advertencia mediante su inclusión en un cartel con fondo amarillo fluorescente y retrorreflectante, y con la incorporación de señales luminosas, preferentemente destellantes si fuera preciso, en tramos en los que esta medida esté justificada.
- 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 se llevará a cabo la identificación y caracterización de tramos de concentración de accidentes con animales, que permitirá seleccionar en



M. Fernández Bou

qué casos es adecuada la señalización reforzada.

- 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. Para evitar la habituación de los conductores, y tratándose de refuerzos de señalización justificados solo en lugares muy concretos, se evitará que la advertencia se refiera a tramos demasiado largos, superiores a 1 km.
- En función de las características de la vía se deberá evaluar si es adecuado o no limitar o recomendar una velocidad de circulación inferior a 70 km/h en el tramo conflictivo. La velocidad de circulación es un factor que ha sido identificado como una variable que aumenta la probabilidad de accidentes con animales, aunque en algunos sectores la medida puede tener un efecto negativo en la fluidez del tráfico, y por ello no siempre es adecuado aplicarla.
- Una de las objeciones a la señalización reforzada es que se instala de manera permanente cuando el alto riesgo de colisionar con fauna silvestre se circunscribe a períodos muy concretos. 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 17.2). 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 durante abril. Durante el resto del año estos tramos dispondrán de la señal de advertencia estándar.

- El uso de señales destellantes desde el atardecer hasta la madrugada, momentos en los que producen el mayor número de accidentes, puede ser un refuerzo para tramos en los que la alta siniestralidad lo justifique.
- 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 17.4); 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.

Señales con sensores de detección de fauna

- Otro sistema alternativo, con un coste más elevado y no pocas dificultades técnicas para su aplicación, son las señales que emiten destellos luminosos de advertencia de peligro, activadas mediante sensores de

detección de fauna (los denominados *Animal Detection System* o ADS) (Figura 17.3).

- Estos sensores detectan la aproximación de animales de gran tamaño (cérvidos, osos, etc.) a distancias que pueden alcanzar los 200 m, gracias a las diferencias térmicas entre el cuerpo del animal y su entorno, o por el movimiento. No obstante, requieren que no haya elementos que obstaculicen la detección, y por ello no son adecuados para instalarlos en áreas con cobertura arbórea o arbustiva densa. Dado que la ausencia de señal destellante garantiza al conductor que no hay riesgo de irrupción de un animal de gran tamaño, es fundamental evitar que puedan producirse fallos de detección.
- La efectividad de estas señales se basa principalmente en que no advierten de un riesgo potencial sino de un peligro real, por la presencia de animales en las proximidades de la calzada. Para aumentar su efectividad deberá informarse a los usuarios de las vías del significado de la señal destellante mediante paneles informativos colocados en los extremos de los tramos.
- Estos dispositivos requieren mantenimiento y controles periódicos frecuentes y conexión a una fuente de energía. De modo habitual se utilizan placas solares fotovoltaicas, pero puede existir riesgo de vandalismo.



Figura 17.1. El mensaje de advertencia se ha destacado mediante un panel con fondo amarillo fluorescente. Foto: Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.



Figura 17.2. Refuerzo de señalización de advertencia operativa temporalmente, solo durante el periodo de mayor riesgo de accidentes causados por ungulados. Foto: Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya.



Figura 17.3. Señal de advertencia de peligro que emite destellos luminosos y que se activa mediante sensores de detección de fauna (ADS). Foto: C. Rosell.



Figura 17.4. Panel de mensaje variable que advierte de la posible presencia de osos. Foto: L. Georgiadis.



Figura 17.5. La señal incita al conductor a reducir la velocidad recordando la presencia de animales muy vulnerables. Foto: Parque Natural Aiguamolls de l'Empordà.



Figura 17.6. Señalización que advierte de la posibilidad de cruce de una especie en peligro de extinción. Foto: JM. López Martín.

Especies y grupos referencia

- Ungulados.

Características y prescripciones básicas

- En esta ficha se describen tres sistemas utilizados para prevenir los accidentes causados por colisión con ungulados, que se basan en la instalación o emisión de estímulos sonoros, olfativos o visuales destinados a evitar que estos animales crucen las vías de transporte, o para que lo hagan con cautela, alertados por estos sistemas.
- Los seguimientos realizados en este tipo de medidas han mostrado que todos ellos en menor o mayor medida pierden su efectividad 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.

Dispositivos olfatorios

- Estos sistemas, denominados popularmente 'barreras de olor', consisten en la colocación, en ambos lados de la vía, de resinas sintéticas impregnadas con sustancias que desprenden un olor que simula el de humanos o de predadores de ungulados. Con ello se pretende alertar a los animales que se acercan a los márgenes de las calzadas, y facilitar, así, la detección de los vehículos que se aproximen.
- Las resinas se pueden adherir a estacas dispuestas en hilera, 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 posible del borde de la carretera, y la segunda, en paralelo a 10 m de distancia de la misma.



F. Navàs

- Esta medida tiene un alto coste de mantenimiento, ya que el producto debe reponerse manualmente cada tres o cuatro meses, o en periodos más cortos, en función de las condiciones meteorológicas. La conservación de estas estacas con frecuencia entra en conflicto con las labores de siega de los márgenes o con los trabajos agrícolas, pudiéndose producir desperfectos si la segunda hilera se coloca en el interior de campos de cultivo adyacentes a las vías.
- Las experiencias de seguimiento realizadas en España ponen de manifiesto que el número de accidentes se reduce durante las primeras aplicaciones del producto. 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.

Dispositivos sonoros

- Son elementos que emiten sonidos que tienen la finalidad de ahuyentar a los cérvidos y al jabalí, especies a las que se dirige habitualmente esta medida.
- Se ha experimentado con distintos tipos de sonidos y ultrasonidos, así como con

distintos sistemas emisores. En algunos casos estos se disponen sobre estacas en el borde de las carreteras y en otros se adhieren a los propios vehículos.

- Se desaconseja la aplicación de esta medida, ya que los seguimientos realizados en algunos países en los que se ha ensayado, en Francia concretamente, han mostrado que no es efectiva a medio plazo. No obstante, se sigue investigando en este campo y algunos de los dispositivos de diseño más recientes que combinan estímulos sonoros y visuales están alcanzando mejores resultados, aunque todavía no se dispone de una evaluación concluyente sobre su efectividad y, en particular, sobre la rapidez de habituación de los animales a estos estímulos combinados.

Reflectores

- Se trata de elementos fabricados con materiales reflectantes instalados sobre pos-

tes 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. Esta medida solo se activa en los períodos crepusculares y nocturnos, cuando es visible la luz de los vehículos que circulan con los faros encendidos, que coinciden con los de mayor riesgo de irrupción de fauna silvestre a la carretera.

- El uso de reflectores está bastante extendido debido a su bajo coste y facilidad de instalación. No obstante, los numerosos seguimientos llevados a cabo en diversos países ponen en evidencia que los animales se acostumbran a su presencia y pierden su efectividad a medio plazo.
- Además, los reflectores requieren labores de mantenimiento frecuentes y su conservación plantea problemas para la siega de márgenes.



Figura 18.1. 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.



Figura 18.2. Existen diversos modelos de reflectores utilizados para proyectar las luces de los faros hacia el entorno de la vía. Estos sistemas requieren tareas frecuentes de mantenimiento y su efectividad es temporal. Fotos: C. Rosell.

Especies y grupos 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.

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 atardecer y el anochecer, períodos de mayor movilidad de las aves. Los colores más recomendables en entornos naturales serán el blanco y el naranja utilizado 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 19.1).
- En paisajes de interés para la avifauna que tienen durante una parte importante del año tonalidades ocres o marrones (hume-



F. Navàs

dales, 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 19.1 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.
- Las marcas pueden colocarse fácilmente mediante adhesivos para reducir la mortalidad causada por pantallas ya instaladas.
- Se desaconseja la colocación de adhesivos con siluetas de rapaces. Este no es un sistema efectivo, ya que las aves no las reconocen como sus depredadores, como sería su objetivo, aunque se ha reportado 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.

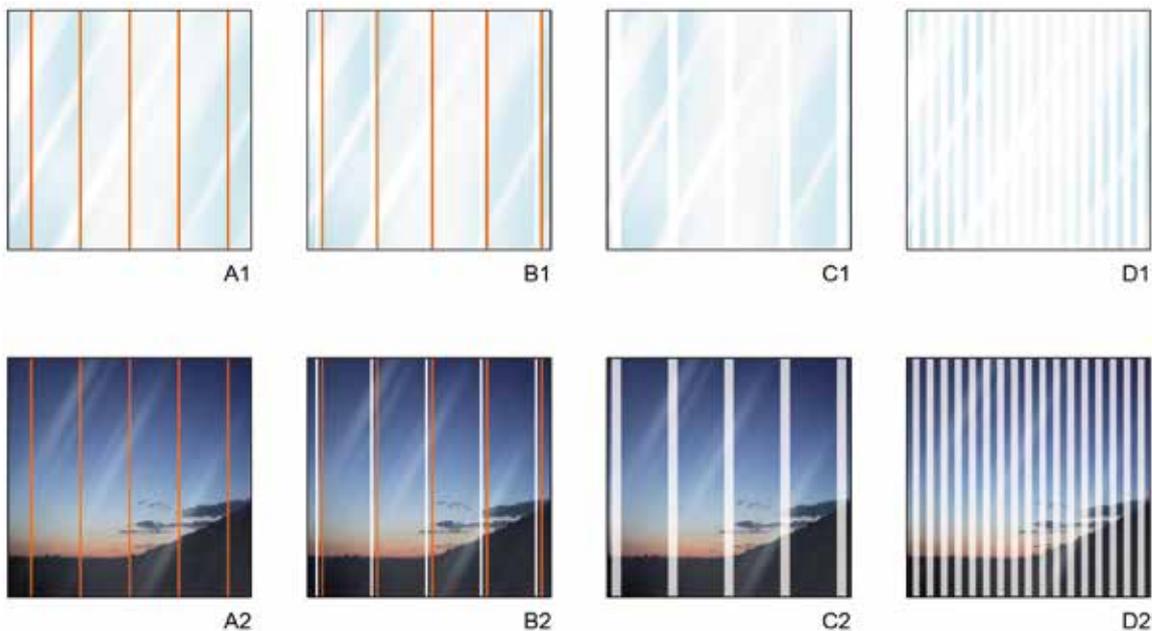


Figura 19.1. Esquema que muestra distintas opciones de señalización de pantallas mediante franjas verticales. Se trata de utilizar los colores que garanticen el máximo contraste con el fondo en los momentos en los que hay mayor intensidad de desplazamientos de aves. La combinación de tonos naranja y blanco (B1 y B2) es la que ofrece mejores resultados para distintas situaciones.

Malas prácticas y errores más frecuentes

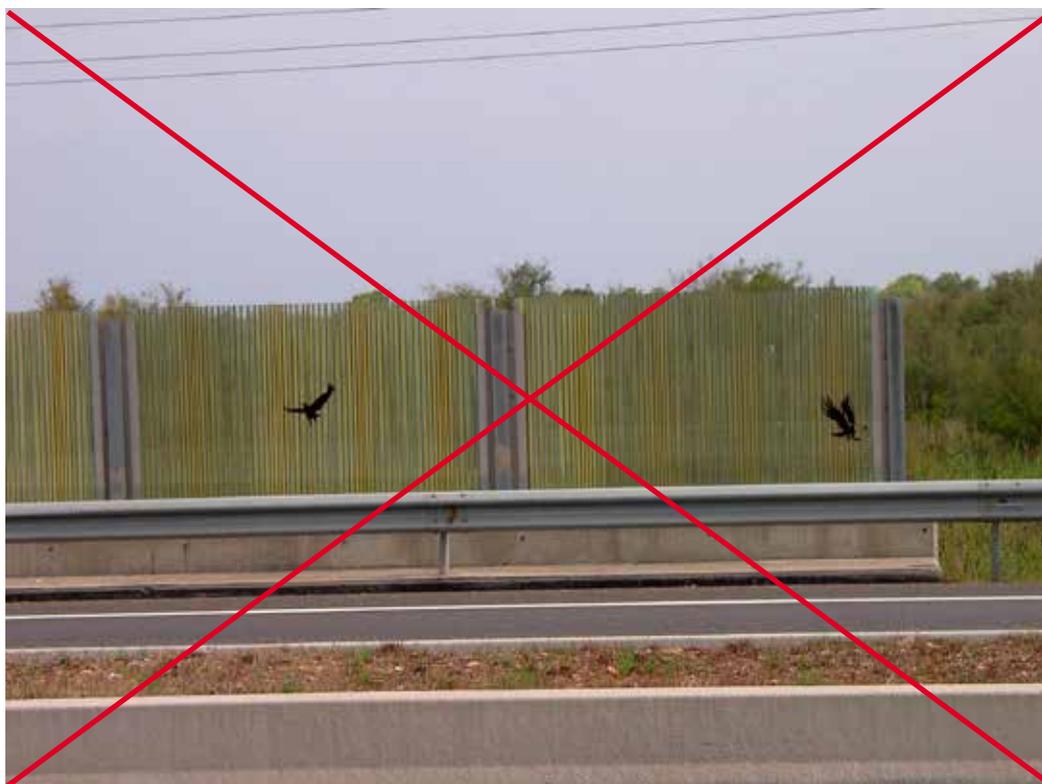


Figura 19.2. Pantalla transparente con siluetas de rapaces que no son efectivas para impedir las colisiones de aves. Además, las bandas verticales no destacan, ya que son del mismo color que la vegetación del entorno. Foto: F. Navàs.

Especies y grupos referencia

- Pequeños mamíferos, reptiles, 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.

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 rejillas 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 (Figura 20.1).
- 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, como las bajantes escalonadas para evitar la erosión de taludes en salidas de drenajes (Figura 9.7).



F. Navàs

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 20.1). 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 20.1 y 20.2).
- 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.

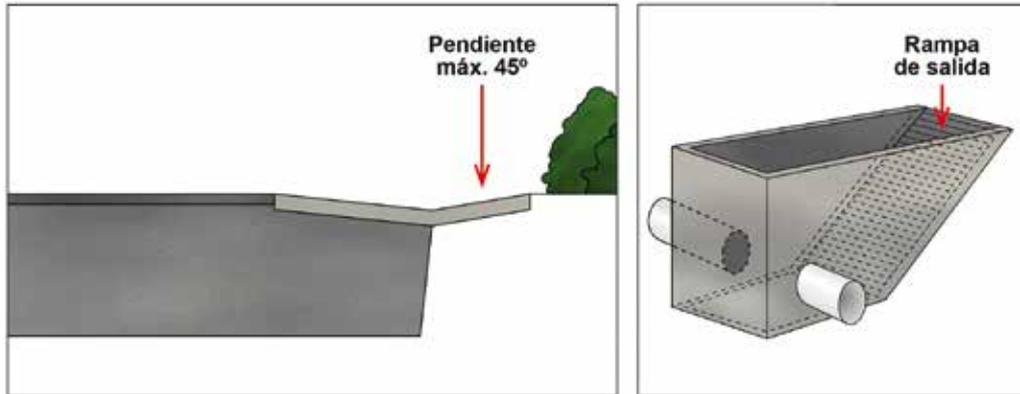


Figura 20.1. Esquema de una cuneta y de la rampa de salida de arquetas u otros elementos del sistema de drenaje perimetral.



Figura 20.2. Cuneta que permite un fácil acceso a los márgenes de la vía de los animales que hayan cruzado la calzada. Foto: F. Navàs.



Figura 20.3. Transición gradual entre la vía y el entorno. Foto: C. Rosell.

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 20.4. 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 20.5. Las rejas 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.

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 (CEEAA), 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.

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 (Fichas 1 y 5) que cuenten con una restauración completa de hábitats para estas especies son las estructuras más idóneas para garantizar la conexión de núcleos poblacionales de es-



R. Campeny

tas 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 14), 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 (CEEAA). 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 uso tienen una importancia caudal tanto las revegetaciones de las entradas de los pasos como el acondiciona-



X. Fernández

miento 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.

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 13 y 14).
- 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 14).

Otros aspectos a considerar

- Para ubicar adecuadamente las estructuras de paso para murciélagos, serán ne-

cesarios 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 claros de bosque, 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 el 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, 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.

Estructuras transversales adecuadas para mustélidos semiacuáticos

- Los viaductos adaptados son la tipología óptima en sectores donde la vía atraviesa



A. Gómez

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-eficacia en el resto de situaciones. Para su adaptación al paso de fauna se seleccionaran 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 anchuras inferiores a 2 m en el caso que vayan destinados solo 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 construir-

se en forma de escalones, con el objetivo de que estén funcionales y se adapten a las variaciones de la lámina de inundación (Figura 9.2).

- En el caso de proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento, en las 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 (Figura 9.2).
- Es indispensable que las 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).

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 14).
- 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 (véanse Ficha 12 y Figura 12.8), para evitar que estas manchas de vegetación conduzcan a los animales hacia sectores con probabilidad de atropello.

Introducción

- El oso pardo 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.
- La mayor parte de datos empíricos sobre el uso de pasos por parte de osos son de estudios llevados a cabo en Norteamérica, y las recomendaciones en relación con las características y dimensiones que deben tener los pasos han sido diseñadas para osos negros americanos y osos grizzlis. Aunque el oso grizzli americano y el oso pardo europeo son la misma especie, 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. Consecuentemente, en esta ficha se indican recomendaciones basadas en las experiencias existentes en Europa, principalmente de Grecia, Bulgaria, Rumania y, en menor medida, de la cordillera Cantábrica.
- 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 de Norteamérica como de Europa.
- 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

- Los ecoductos y viaductos son las tipologías óptimas en corredores ecológicos de interés estratégico para la conectividad entre núcleos de población y en los corredores de desplazamiento habitual para la especie, 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, especialmente si alcanzan las dimensiones óptimas para grandes mamíferos (dimensiones recomendadas en Fichas 2 y 6).
- Los pasos multifuncionales (tanto superiores como inferiores) pueden utilizarse como complemento para la permeabilización de infraestructuras en sectores con un mayor grado de humanización. Esto es debido a que el oso pardo es una especie de comportamiento adaptable, habiéndose registrado el uso de este tipo de estructuras, aunque de forma más puntual, en Grecia y España. En este caso los pasos deberán alcanzar las dimensiones mínimas que se recomiendan para grandes mamíferos (véase Fichas 3 y 7), aunque se ha detectado el uso esporádico de pasos menores.
- Se realizarán plantaciones 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.

Vallado específico para osos

- Los cerramientos convencionales para grandes mamíferos (Ficha 13) pueden no ser suficientes para impedir el acceso de osos a las vías. Normalmente los osos sobrepasan las mallas aplastándolas por la parte superior o acceden a las plataformas

por desajustes existentes entre estas y las aletas de estructuras transversales.

- En tramos que se prevean especialmente conflictivos se deben aplicar cerramientos específicos para oso (véase Ficha 13).

Introducción

- El lince ibérico 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 una especial sensibilidad 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.

Estructuras transversales adecuadas para lince ibérico

- Los ecoductos y viaductos son las tipologías óptimas en corredores ecológicos de interés estratégico para la conectividad entre núcleos de población y en los corredores de desplazamiento habitual para la especie, 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, especialmente si alcanzan las dimensiones óptimas para grandes mamíferos (Véanse Fichas 2 y 6).
- Los pasos multifuncionales (tanto superiores como inferiores) pueden utilizarse como complemento para la permeabilización de infraestructuras en sectores con un mayor grado de humanización. En este caso las estructuras deberán alcanzar las dimensiones que se recomiendan para grandes mamíferos (véanse Fichas 3 y 7). En el caso de proyectos de desfragmentación de vías en funcionamiento, puede considerarse la adaptación o construcción de estructuras menores, de hasta un mínimo de 4 x 2 m.
- 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.



Proyecto LIFE+ Iberlynce

- Se realizarán plantaciones y se instalará el cerramiento perimetral de manera que guíen a los lince hacia las entradas del paso (Ficha 12). Las revegetaciones de los accesos de la estructura deberán diseñarse de manera que proporcionen refugio y conecten con los hábitats adecuados presentes en su entorno.
- 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, como elementos estratégicos de la denominada infraestructura verde.

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 13).
- 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 la Ficha 16.

- En tramos de concentración de atropellos de lince deberá evaluarse la posibilidad de

intensificar las labores de desbroce y eliminación de árboles en los márgenes de la carretera, creándose franjas desprovistas de refugios y puntos de acecho de 10-15 m de anchura entre el monte y la vía.



Anexo



Presentación



Aspectos generales
y marco de referencia



Catálogo de medidas y
prescripciones técnicas
para su aplicación



Anexo

Bibliografía

- Association Suisse des Professionnels de la Route et des Transports. 1994. *Faune et trafic; Clôtures à faune*. Norme VSS SN 640 693a.
- Association Suisse des Professionnels de la Route et des Transports. 2004. *Faune et trafic; Mesures de protection*. Norme VSS SN 640 694.
- Association Suisse des Professionnels de la Route et des Transports. 2010. *Routes et systèmes d'évacuation des eaux. Mesures de protection pour les amphibiens*. Norme VSS SN 640 699a.
- Beckmann, J.P., Clevenger, A.P., Huijser, M.P. & Hilty, J.A. 2010. (Eds.) *Safe passages: highways, wildlife and habitat connectivity*. Island Press, Washington.
- Bissonette, J.A. & Adair, W. 2008. Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. *Biological Conservation* 141:482–488.
- Clevenger, A.P. and M.P. Huijser. 2011. *Wildlife crossings structure handbook: Design and evaluation in North America*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-CFL/TD-11-003. 211 pp.
- EuroNatur. 2010. *TEWN Manual. Recommendations for the reduction of habitat fragmentation caused by transport infrastructure development*. EuroNatur Foundation. Radolfzell. 135 pp.
- Hlavác, V. & Andèl, P. 2002. *On the permeability of roads for wildlife: a handbook*. Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic and EVERNIA s.r.o. 51 pp. Liberec.
- luell, B., Bekker, G.J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlavác, V., Keller, V., B., Rosell, C., Sangwine, T., Tørsløv, N. & Wandall, B. Le Maire, (Eds.). 2005. *Fauna y Tráfico. Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Serie técnica. 166 pp.
- Limpens, H.J.G.A., Twisk, P. & Veenbaas G. 2005. *Bats and road construction*. Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering Institute. Society for the Study and Conservation of Mammals. 24 pp. Delft.
- 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. & Velasco Rivas, J. (1999). *Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna*. Documents dels Quaderns de medi ambient, núm. 4. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. Barcelona. 95 pp. (Incluye traducción al castellano).
- SETRA. 1993. *Passages pour la grande faune – Guide technique*. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Ministère de l'Équipement, Ministère de l'Environnement. 221 pp. Bagnaux Cedex (France).
- SETRA. 2005. *Aménagements et mesures pour la petite faune – Guide technique*. Service

d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer. 264 pp.

van der Ree, R., Smith, D.J. and Grilo, C (eds.). 2015. *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, Oxford. 552 pp. ISBN: 978-1-118-56818-7.

Más información en:

Web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente:
www.magrama.gob.es/es/.

Web de la organización Australasian Network on Ecology and Transportation:
www.ecologyandtransport.com

Web de la organización Infra Eco Network Europe (distribución de los productos elaborados durante el desarrollo de la Acción Cost 341):
www.iene.info.

Web de la organización International Conference on Ecology & Transportation:
www.icoet.net/

Webs sobre aplicaciones relacionadas con pasos de fauna y conectividad, como:
www.fs.fed.us/wildlifecrossings/index.php

www.conefor.org/

www.stream.fs.fed.us/fishxing/espanol.htm



Otros documentos de la serie
Disponibles también en soporte digital en la Web del
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

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

La segunda edición de las PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE PASOS DE FAUNA Y VALLADOS PERIMETRALES actualiza y amplía los contenidos del primer número de la serie *Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte*, elaborado, al igual que esta, en el marco del Grupo de Trabajo sobre esta temática que integra representantes de las administraciones de transporte y medio ambiente de todas las Comunidades Autónomas y del Estado. Este grupo depende de la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad, y lo coordina la Subdirección General de Medio Natural de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

La primera edición se redactó a partir de las directrices del manual europeo FAUNA Y TRÁFICO, elaborado en el proyecto Acción COST 341, concretando las prescripciones técnicas a aplicar en el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales, indicando los mínimos necesarios para garantizar su efectividad, así como recomendaciones para optimizar su funcionamiento.

Esta edición modifica los contenidos acorde con las mejores prácticas y conocimientos actuales sobre la materia y pretende dar un nuevo impulso a la aplicación de las medidas más efectivas para reducir el efecto barrera y la mortalidad de fauna asociados a las infraestructuras de transporte, así como contribuir a unas carreteras más seguras, con menor riesgo de accidentes causados por animales.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



Centro de Publicaciones
Paseo de la Infanta Isabel, 1-28014 Madrid