

COST 341

Fragmentación del hábitat causada
por las infraestructuras de transporte

FAUNA Y TRÁFICO

Manual europeo para la identificación
de conflictos y el diseño de soluciones



European
Co-operation
in the Field of Scientific
and Technical Research



COST 341

Fragmentación del hábitat causada por las infraestructuras de transporte

FAUNA Y TRÁFICO

Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones

Autores:

Bjørn Iuell (N) Coordinador
Hans G.J. Bekker (NL)
Ruud Cuperus (NL)
Jiri Dufek (CZ)
Gary Fry (N)
Claire Hicks (UK)
Vaclav Hlavác (CZ)
Verena Keller (CH)
Carme Rosell (E)
Tony Sangwine (UK)
Niels Tørsløv (DK)
Barbara le Maire Wandall (DK)

Nota a la edición en castellano:

Los capítulos de este documento fueron redactados por autores de distintos países europeos participantes de la Acción COST 341 sobre Fragmentación de Hábitats causada por Vías de Transporte. Las directrices aportadas en el Manual debían tener validez para el conjunto de los países, algunos de ellos no integrados en la Unión Europea, y, por ello, muchas recomendaciones, y especialmente las referidas a planificación, evaluación de impacto ambiental e integración paisajística, son genéricas y cada país puede adaptarlas y concretarlas en función de sus normativas y sus contextos paisajísticos.

En esta traducción se han respetado los textos originales en inglés, sólo con ligeras adaptaciones, y se ha iniciado, en paralelo, la tarea de redacción de una serie de documentos de Prescripciones Técnicas basadas en las directrices de este Manual, pero adaptadas al contexto del Estado español.

Título del documento: Iuell, 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. 166 pp.

Edita: Organismo Autónomo Parques Nacionales
ISBN: 84-8014-625-7
NIPO: 311-05-009-3
Depósito Legal: M. 38379-2005
Edición en inglés a cargo de KNNV Publishers 2003.

Noticia legal

La Comisión Europea no acepta responsabilidad alguna por lo que respecta a la información contenida en este manual y esta información no refleja necesariamente la opinión oficial de la Comisión. La Comisión, aunque no puede garantizarlo, ha procurado por todos los medios que el material que se presenta en este manual sea completo, preciso y actualizado en el momento de su redacción. Ni la Comisión Europea, ni ninguna otra persona actuando en nombre de la Comisión es responsable del contenido de este manual y del uso que se haga de él.

Copyright

Los usuarios pueden fotocopiar este manual sólo para uso personal y no comercial. El uso de fotos y figuras en otros documentos no está permitido sin la autorización de los respectivos autores.

Investigación e informe encargados por

Cooperación Europea en el Área de la Investigación Técnica y Científica
Rue de la Loi 200
B -1049 Bruselas
Tel: +32 2 2968254 Fax: +32 2 2693765
Se puede encontrar información adicional sobre COST Transport en:
<http://www.cordis.lu/costtransport/home.html>

Agradecimientos

Philippe Stalins, Magnus Carle, Jan Spousta (responsables del secretariado de COST 341)
Dibujos de Wendy von Gijssel, Bureau Waardenburg bv, Holanda
Diseño: Graphic Centre, Norwegian Public Roads Administration and Highways Agency, UK
Diseño gráfico y producción: PS Graphics and Halcrow Group Ltd., Worcester, UK

Edición en castellano

Traducción: Target Languages
Maquetación: Artentraç
Coordinación de la edición y adaptación del texto: Georgina Álvarez (Ministerio de Medio Ambiente), Carme Rosell y Roser Campeny (Minuartia, Estudis Ambientals). Con la colaboración de Frederic Casals.

Foto de la portada: Ecoducto Woeste Hoeve sobre la autopista A50 entre Arnhem y Apeldoorn, en Holanda, que constituye una conexión ecológica para toda clase de hábitats. (Foto de Luchtfotografie Slagboom en Peeters)

Prólogo

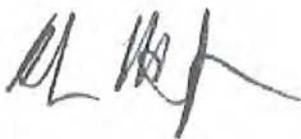
"El territorio se encuentra bajo la continua presión de nuevas infraestructuras de transporte: entre 1990 y 1998, 33.000 ha, aproximadamente 10 ha de tierra cada día, fueron ocupadas en la UE para la construcción de autopistas y autovías. La mayor parte de la superficie de la UE está muy fragmentada por las infraestructuras de transporte. El tamaño medio de las áreas no fragmentadas por la red viaria oscila entre los 20 km² en Bélgica y los 600 km² en Finlandia, con una media en la UE de 130 km²." (EEA, 2001)

Uno de los cambios más radicales en el paisaje de Europa en los últimos siglos ha sido la creación y posterior extensión de la red de infraestructuras. A finales del siglo XX, la expansión de las redes de carreteras y ferrocarriles disminuyó, pero no cesó. Al mismo tiempo, una red cada más densa de carreteras secundarias, caminos y pistas forestales han ido apareciendo en los espacios naturales de Europa. Los canales y otras infraestructuras de transporte de electricidad y telefónicas, han fragmentado aún más las áreas naturales, mientras que las superficies urbanizadas han aumentado vertiginosamente. Los investigadores, las organizaciones conservacionistas y las administraciones han expresado su preocupación sobre los impactos que causa esta fragmentación. Los estudios han subrayado los riesgos asociados a la reducción del tamaño de los fragmentos de hábitat que quedan y, como consecuencia, del aumento de los efectos de borde y barrera. Durante la última década se ha empezado a desarrollar una cooperación internacional para analizar los impactos de las infraestructuras de transporte en términos de fragmentación, así como sobre los medios para evitarlos y mitigarlos.

La Acción COST 341, que se inició en 1998, es uno de los productos de este esfuerzo. Este manual es el resultado directo del trabajo concertado de 16 países que han contribuido a su redacción e incluye consejos para reducir los impactos de las infraestructuras de transporte en la fragmentación del hábitat, considerando las grandes diferencias en cuanto a hábitats e infraestructuras de transporte en Europa.

Cuando la necesidad para mitigar los efectos de la fragmentación da como resultado la construcción de ecoductos y otros pasos para la fauna, la inversión necesaria puede ser importante. Si estas soluciones también se tienen que implantar en las carreteras existentes, la ejecución del proyecto puede que no sea sencillo y a muchas organizaciones les ha resultado imposible conseguir los recursos suficientes. Esta situación subraya la importancia que tiene evitar la fragmentación, en primer lugar, procurando conservar el hábitat existente o contribuyendo a su restauración. Las organizaciones y administraciones encargadas de las infraestructuras tienen que mantener un contacto estrecho con las autoridades locales para que los hábitats se mantengan intactos y para que la eficacia de los pasos de fauna no disminuya por la construcción de otras infraestructuras o usos del suelo. Los participantes en la Acción COST 341 y los miembros del grupo Infra-Eco Network Europe han hecho una importante aportación tanto en lo que se refiere a conocimientos como a prácticas responsables. Estoy convencido de que su trabajo continuará de forma fructífera y mejorará nuestra forma de relacionarnos con la integridad del hábitat, evitando y mitigando su fragmentación.

"Umstø unar skapa alt" (Las condiciones de vida conforman todo lo demás) (Gaffin, 1996)



Anders HH Jansson
Presidente,
World Road Association (PIARC)
Comité sobre Desarrollo Sostenible y Transporte por Carretera

1 Introducción

1

2 Guía del usuario

2

3 Efectos de las infraestructuras en la naturaleza

3

4 Desarrollo de soluciones integradas

4

5 Herramientas de planificación

5

6 Integración en el paisaje del entorno

6

7 Pasos de fauna y otras soluciones técnicas

7

8 Medidas compensatorias

8

9 Seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas

9

10 Anexos

10

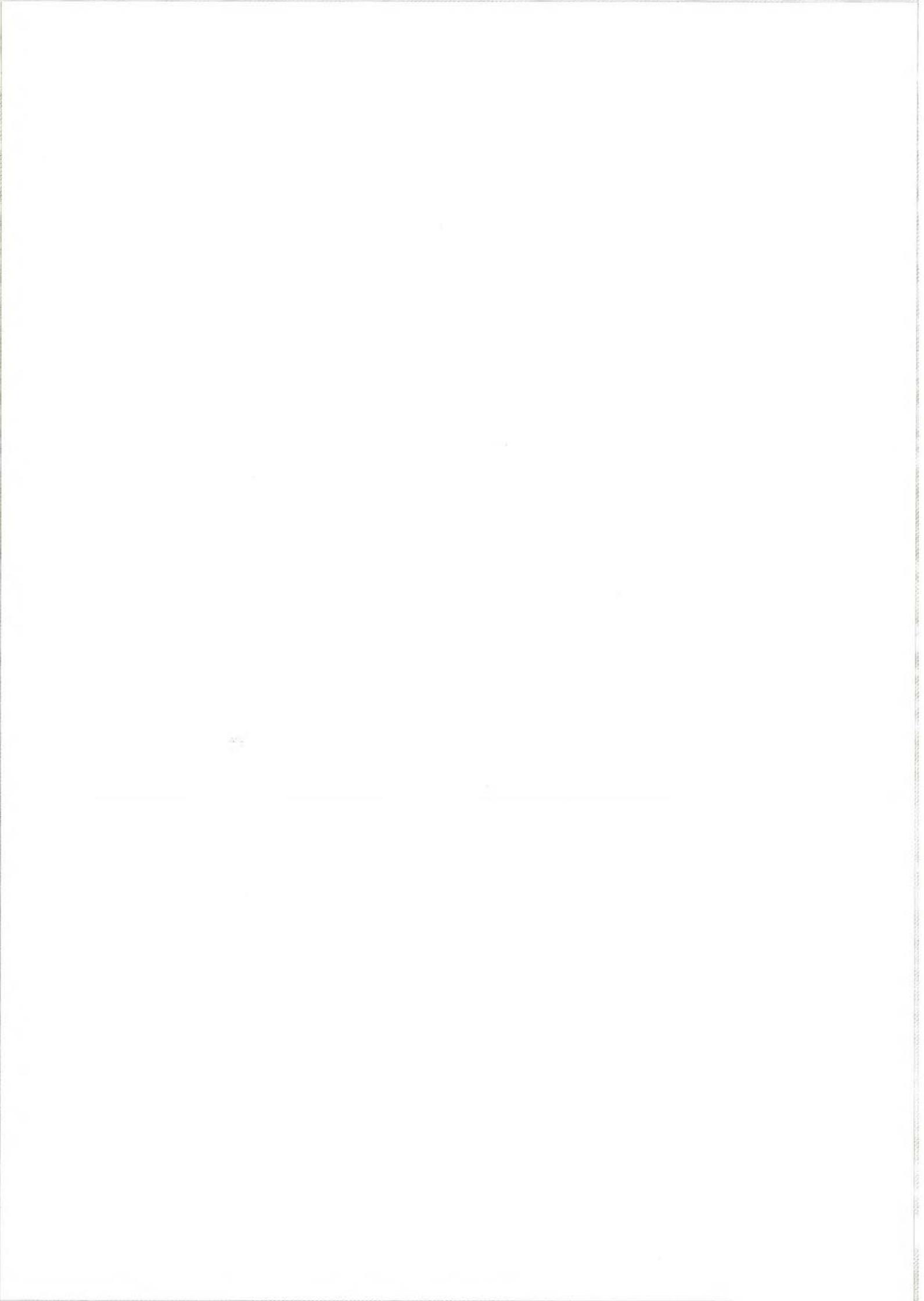
Índice

1	Introducción	11
2	Guía del usuario	17
3	Efectos de las infraestructuras en la naturaleza	21
3.1	Definición de fragmentación del hábitat	23
3.2	Efectos ecológicos de las infraestructuras de transporte	24
3.3	Efectos ecológicos primarios	24
3.3.1	Pérdida de hábitat	24
3.3.2	Efecto barrera	24
3.3.3	Mortalidad causada por atropello y colisiones con vehículos	26
3.3.4	Molestias y contaminación	27
3.3.5	Función ecológica de los márgenes	28
3.4	Efectos ecológicos secundarios	30
3.5	Perspectiva de la ecología del paisaje	30
4	Desarrollo de soluciones integradas	31
4.1	Medidas para afrontar la amenaza de la fragmentación de hábitats	33
4.2	La importancia del estudio de la fragmentación del hábitat en las fases iniciales	37
4.3	Soluciones integradas	37
5	Herramientas de planificación	39
5.1	Planificación para evitar y reducir la fragmentación	41
5.2	Actuaciones en la fase de planificación estratégica (EAE)	41
5.3	Actuaciones en la fase de proyecto (EIA)	41
5.3.1	Ámbito de la EIA	42
5.3.2	Identificación de zonas sensibles durante el proceso de la EIA	42
5.4	Evaluación de impacto de fragmentación de la nueva infraestructura en la EIA	42
5.4.1	Definición del área de estudio	44
5.4.2	Fase de inventario y cartografía	45
5.4.3	Proceso de evaluación	46
5.4.4	Proceso iterativo de selección del trazado de un proyecto	47
5.4.5	Consideración de las alternativas de trazado	47
5.4.6	Planificación del programa de seguimiento	49
5.5	Reducción del impacto de las infraestructuras existentes	50
5.5.1	Bases para la corrección de impactos y resolución de conflictos	50
5.5.2	Análisis del efecto barrera	50
5.5.3	Reducción del tráfico	53
5.5.4	Clausura de infraestructuras	53
5.6	Mejora de carreteras y ferrocarriles	53
5.7	Costes y beneficios	54
5.7.1	Descripción de los costes	54
5.7.2	Descripción de los beneficios	55
5.7.3	Pequeñas inversiones en infraestructuras existentes	55
5.7.4	Durabilidad de las soluciones	55
5.8	Síntesis de recomendaciones	55

6	Integración en el paisaje del entorno	57
6.1	Introducción	59
6.1.1	Posibles efectos de la construcción de infraestructuras en el relieve	59
6.1.2	Planteamiento multidisciplinar	59
6.1.3	Principios de mitigación	59
6.2	Trazado	60
6.2.1	Adaptación a relieves montañosos y valles	61
6.2.2	Trazados en paisajes llanos	62
6.2.3	Cruce de valles	62
6.2.4	Cruce de cursos fluviales	64
6.2.5	Intersecciones y rotondas	64
6.3	Adaptación de taludes	65
6.3.1	Emplazamiento	65
6.3.2	Adaptación de pendientes al relieve local	65
6.3.3	Bermas	66
6.3.4	Afloramientos rocosos	66
6.3.5	Falsos desmontes	67
6.3.6	Inclinación de los desmontes y terraplenes	67
6.4	Soluciones de diseño	67
6.4.1	Túneles	67
6.4.2	Uso de la vegetación	68
6.4.3	Vallas y muros	69
6.4.4	Pantallas para prevenir impactos ambientales	70
6.4.5	Iluminación	70
6.4.6	Drenajes y balsas	70
6.5	Síntesis de recomendaciones	71
7	Pasos de fauna y otras soluciones técnicas	73
7.1	Enfoque general	75
7.1.1	Cómo utilizar este capítulo	75
7.1.2	Tipos de medidas y sus funciones principales	75
7.1.3	Pasos de fauna como parte de un concepto de permeabilidad del paisaje	77
7.1.4	Elección de las medidas adecuadas	77
7.1.5	Densidad y ubicación de los pasos de fauna	79
7.1.6	Adaptación de las estructuras para la fauna	82
7.1.7	Resolución de los problemas en las carreteras y ferrocarriles en funcionamiento	84
7.1.8	Mantenimiento y supervisión de las medidas de mitigación	84
7.2	Reducción del efecto barrera: pasos superiores	85
7.2.1	Ecoductos y pasos superiores de fauna	85
7.2.2	Pasos superiores adaptados: estructuras multifuncionales	94
7.2.3	Pasos entre árboles	95
7.3	Reducción del efecto barrera: pasos inferiores	97
7.3.1	Viaductos	97
7.3.2	Pasos inferiores para mamíferos de mediano y gran tamaño	101
7.3.3	Pasos inferiores adaptados: estructuras multifuncionales	103
7.3.4	Pasos inferiores para pequeños vertebrados	105
7.3.5	Drenajes adaptados para animales terrestres	109
7.3.6	Drenajes adaptados para peces y otros organismos acuáticos	111
7.3.7	Pasos de anfibios	115

7.4	Cómo evitar y reducir la mortalidad de animales	121
7.4.1	Vallados perimetrales	121
7.4.2	Dispositivos artificiales de disuasión	125
7.4.3	Señalización de advertencia	126
7.4.4	Señalización de advertencia con sensores de detección de fauna	126
7.4.5	Adaptación del hábitat en los márgenes de la infraestructura	127
7.4.6	Adaptación de la infraestructura	128
7.5	Otras medidas para la reducción del efecto barrera y la mortalidad	131
7.5.1	Adaptación del ancho de la carretera y reducción de la intensidad del tráfico	131
7.5.2	Clausura de la infraestructura	132
8	Medidas compensatorias	133
8.1	El concepto de compensación ecológica	135
8.1.1	Compensación ecológica por pérdida y degradación del hábitat	135
8.1.2	La compensación como parte del concepto de conservación de la biodiversidad	135
8.1.3	Ámbito de las medidas compensatorias	135
8.2	Obligaciones legales	136
8.3	Aplicación de medidas compensatorias en el ámbito de los proyectos de infraestructuras	136
8.3.1	Casos en los que deben aplicarse medidas compensatorias	136
8.3.2	Responsabilidad en la implementación de las medidas compensatorias	137
8.3.3	Creación de nuevos hábitats	137
8.3.4	Translocación	137
8.3.5	Mejora del hábitat	137
8.3.6	Opciones de compensación	138
8.3.7	Sostenibilidad de las medidas compensatorias	139
8.4	Banco de medidas de mitigación	140
9	Seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas	141
9.1	Principios generales del seguimiento	143
9.1.1	Objetivos de un programa de seguimiento	143
9.1.2	Definición y tipos de seguimiento	143
9.1.3	Consideraciones prácticas sobre el seguimiento	146
9.2	Diseño de un programa de seguimiento	148
9.2.1	Del diseño a la aplicación de un programa de seguimiento	148
9.2.2	Pasos para el diseño del programa de seguimiento	149
9.3	Control de calidad durante la fase de construcción	150
9.4	Métodos de seguimiento de atropellos y de la utilización de pasos de fauna	151
9.4.1	Registro de animales atropellados en carreteras o ferrocarriles	152
9.4.2	Registro de la proporción de animales que logra cruzar una infraestructura de transporte	153
9.4.3	Control del uso de pasos de fauna registrando las huellas de los animales en arena o polvo de mármol	154
9.4.4	Control del uso de los pasos de fauna registrando las huellas mediante lechos de tinta	155
9.4.5	Control del uso de los pasos de fauna utilizando fotografías y videos	156
9.4.6	Otros métodos de control del uso de los pasos de fauna	157
10	Anexos	159
	Anexo 1: Abreviaturas	161
	Anexo 2: Participantes	162
	Anexo 3: Páginas Web relacionadas con el tema	163
	Anexo 4: Manuales y directrices	163
	Anexo 5: Productos de la Acción COST 341	166

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción	Guía del usuario	Efectos de las infraestructuras	Desarrollo de soluciones integradas	Herramientas de planificación	Integración en el paisaje	Pasos de fauna	Medidas compensatorias	Seguimiento y evaluación	Anexos



El problema

Las consecuencias que tiene para la naturaleza la construcción de infraestructuras de transporte incluyen la mortalidad de fauna a causa de atropello, la pérdida y degradación de hábitats, la contaminación, la creación de microclimas y condiciones hidrológicas alteradas, y el aumento de actividades humanas en las zonas adyacentes. Además, las carreteras, vías férreas y canales navegables obstaculizan el libre desplazamiento de los animales, pueden aislar determinadas poblaciones y reducir su probabilidad de supervivencia a largo plazo.

La fragmentación del hábitat, es decir, la división de los hábitats y ecosistemas naturales en parcelas más pequeñas y aisladas, se ha reconocido internacionalmente como una de las mayores amenazas para la conservación de la diversidad biológica. Los cambios en los usos del suelo, y especialmente, la construcción y utilización de infraestructuras de transporte es uno de los principales agentes que generan barreras y causan la fragmentación de hábitats (Figura 1.1).

La extensión de los sistemas de transporte ha aumentado y el impacto de la fragmentación es un



Figura 1.1 – La infraestructura de transporte puede fragmentar el hábitat, como ocurre en este ejemplo en el enlace de la A36, Alsacia, Bosque de Hardt (Haut-Rhin), Francia. (Foto de J. Carsignol)

problema cada vez más importante. El paulatino aumento de los animales que son víctimas de atropello o colisión con vehículos en carreteras y vías férreas es un indicador bien documentado de este problema. No obstante, las barreras que provocan la fragmentación del hábitat tienen otros efectos a largo plazo que no son fáciles de detectar.

Para conseguir una red de infraestructuras de transporte ecológicamente sostenible, deben mitigarse estos efectos adversos mediante un enfoque holístico que integre los factores sociales y ecológicos, y que opere en todo el entorno (Figura 1.2). Por consiguiente, uno

de los retos a los que se enfrentan los ecólogos, así como los ingenieros de caminos y promotores de infraestructuras, es el desarrollo de herramientas adecuadas para evaluar, prevenir y mitigar los impactos de estas infraestructuras. Este ha sido el principal cometido de la Acción COST 341, abordar los problemas asociados a la *Fragmentación del Hábitat causada por las Infraestructuras de Transporte*.

COST 341

Representantes de casi 20 países europeos integrados en la organización Infra Eco Network Europe (IENE) subrayaron la necesidad de cooperar e intercambiar información en el campo de la fragmentación del hábitat provocado por las infraestructuras en Europa, y también la necesidad de conseguir el apoyo de los gobiernos europeos. Todo esto dio como resultado la propuesta de la Acción COST 341, para abordar los problemas asociados a la Fragmentación del Hábitat causada por la Infraestructura de Transportes, que se presentó a la Comisión Europea y se inició en 1998.

Uno de los documentos elaborados revisa la situación en Europa de la fragmentación del hábitat en relación



Figura 1.2 – La fragmentación del hábitat se puede mitigar construyendo pasos para la fauna como este paso elevado sobre la autopista A36, Alsacia, Francia. (Foto de J.Carsignol)

con las infraestructuras de transporte (véase anexo 5, Capítulo 10). Se trata de una descripción de la escala e importancia del problema de la fragmentación de los hábitats naturales provocado por las carreteras, vías férreas y canales navegables en Europa, que examina las soluciones que se pueden aplicar en la actualidad. El análisis se basa en los informes sobre el estado de la cuestión en cada uno de los países participantes, de cuya publicación se encarga cada uno de estos países. La Revisión Europea y los Informes de cada país, o un resumen de los mismos, también se pueden conseguir en un CD-ROM, que distribuye la organización IENE (véase anexo 5, Capítulo 10).

Participantes en la Acción COST 341

16 países y una ONG han participado en la Acción COST 341

- Austria
- Bélgica
- Chipre
- República Checa
- Dinamarca
- Francia
- Hungría
- Noruega
- Portugal
- Rumanía
- España
- Suecia
- Suiza
- Países Bajos
- República de Irlanda
- Reino Unido
- Centro Europeo para la Conservación de la Naturaleza

La base de datos ofrece información sobre la literatura existente, sobre los proyectos en curso y resultados de los proyectos, así como un glosario de términos utilizados en el campo de las infraestructuras de transporte y fragmentación de hábitats. La base de datos se puede consultar en la página web de IENE (www.iene.info).

El Manual

El tema principal de este manual es la reducción de los efectos de la fragmentación generada por las infraestructuras de transporte. Los principales agentes a los que se destina este manual son los encargados de planificar, diseñar, construir y mantener las infraestructuras (carreteras, vías férreas, vías navegables), así como los encargados de tomar las decisiones a escala nacional, regional o local. Es un manual que aporta soluciones basadas en los conocimientos acumulados por una amplia gama de expertos de los países participantes y de numerosos organismos internacionales.

Capítulo a capítulo, el lector puede ir descubriendo las diferentes fases, desde los primeros pasos de la planificación estratégica, pasando por la integración de las carreteras en el paisaje, la utilización de medidas de mitigación como pueden ser los pasos de fauna, el campo menos conocido de las medidas compensatorias y el uso de métodos diferentes de seguimiento y evaluación de las soluciones elegidas. Véase Capítulo 2, Manual del Usuario.

Documentos COST 341

- Informes sobre el estado de la cuestión en cada país
- Una revisión sobre la situación general en Europa
- Una base de datos que integra las publicaciones y proyectos más relevantes en la materia
- Este Manual

Carreteras, ferrocarriles y vías navegables

Como indica el título, las soluciones que aporta el manual se han diseñado para diferentes clases de infraestructuras de transporte, no solo carreteras. Las vías férreas también pueden tener un impacto considerable en la naturaleza y crear barreras, a pesar de que la densidad de las vías y su intensidad de tránsito son considerablemente inferiores a las de las carreteras. En varios países europeos existen grandes redes de vías navegables, compuestas por ríos y canales, que se utilizan para el transporte. Sin embargo, es la red de carreteras y el tráfico rodado lo que constituye la principal presión para la fauna. La expresión "infraestructura de transporte" se utiliza en el manual para referirse al conjunto de los sistemas de transporte; la mayoría de los ejemplos y las medidas que se explican en el mismo se refieren a las carreteras, aunque muchas de las medidas se pueden aplicar también al impacto de las vías férreas.

Medidas descritas en el manual

El proyecto de medidas para mitigar la fragmentación del hábitat causada por las infraestructuras de transporte es un nuevo campo del conocimiento, que combina ecología e ingeniería. La forma en que se disponen las infraestructuras en el paisaje puede tener mucha importancia para la fauna. El manual describe distintos factores que hay que tener en cuenta en la

planificación de los corredores de transporte y la integración de las infraestructuras en el paisaje. Se hace hincapié sobre todo en la construcción de pasos para la fauna, tanto inferiores como superiores a la vía, y de ecoductos y pasos adaptados para las distintas especies.

Debido en parte a las distintas tradiciones por lo que respecta a la construcción de infraestructuras viarias y también a los diferentes contextos físicos y ecológicos, el diseño de los pasos de fauna y otras medidas de mitigación son diferentes en cada país. No obstante, en el Manual se han establecido unas normas básicas para el diseño, construcción y mantenimiento de las medidas de mitigación que pueden tener validez en toda Europa. Hasta la fecha, se han realizado pocas evaluaciones sobre la efectividad de estas medidas de mitigación. Será necesario realizar más estudios y seguimientos de sus efectos en las poblaciones de animales. La experiencia y la difusión de los resultados del seguimiento de las medidas permitirá mejorar los diseños y con el tiempo formular nuevas normas y recomendaciones técnicas. El intercambio de conocimientos y experiencias que se está realizando entre los distintos países europeos y también con otras regiones del planeta, es fundamental para elaborar nuevos estándares.

Redes existentes y de nueva construcción

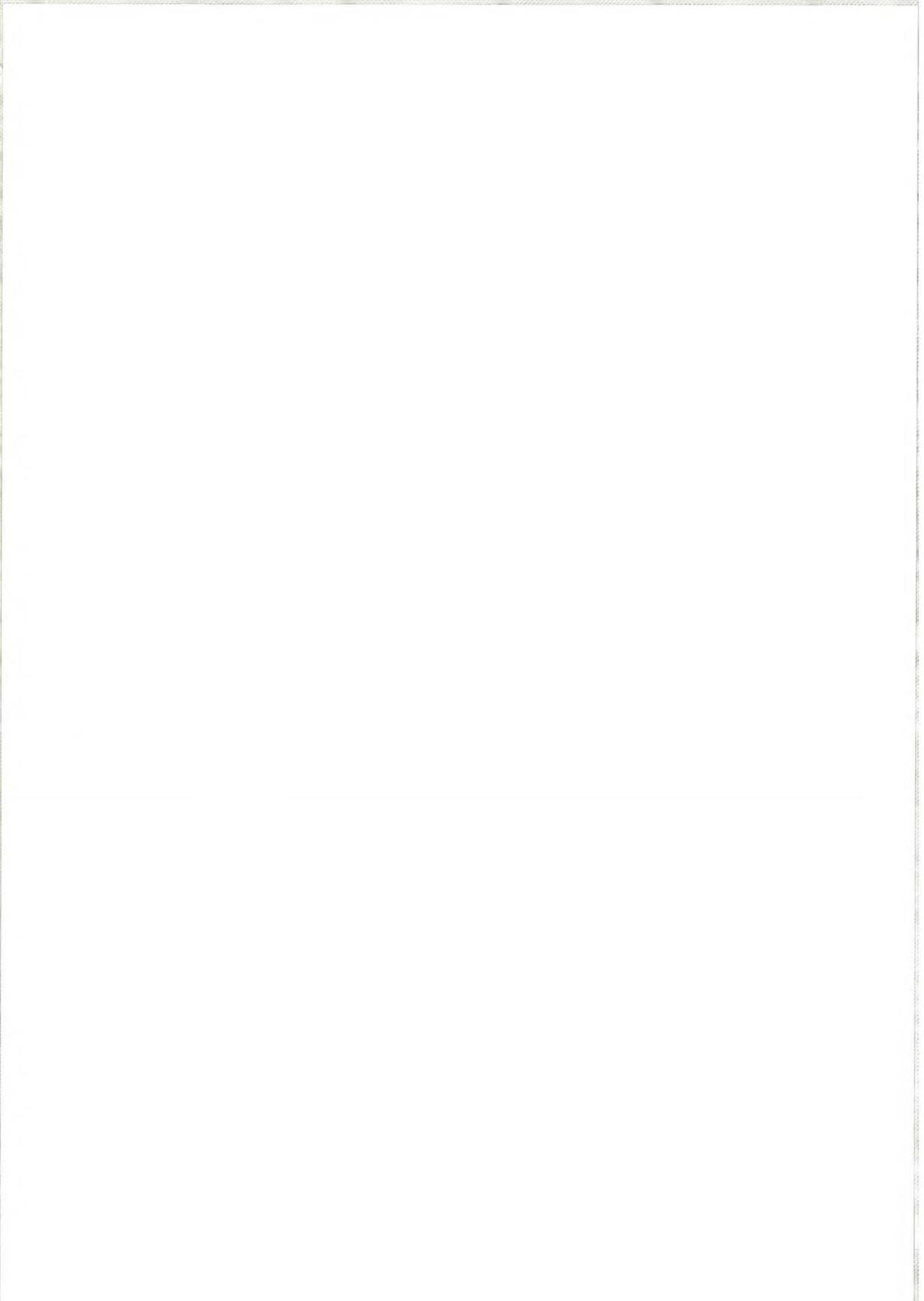
Aunque la fragmentación del hábitat se está teniendo cada vez más en cuenta cuando se planifican las infraestructuras, todavía siguen existiendo tramos de carreteras y vías férreas en funcionamiento donde es necesario aplicar urgentemente medidas de mitigación. El impacto de las infraestructuras existentes puede reducirse cuando se construye una nueva en sus proximidades, aumentando con ello la necesidad de medidas de mitigación. Por tanto, cuando se diseñen medidas para contrarrestar la fragmentación del hábitat, será necesario centrarse en las redes de infraestructuras en su conjunto, integrando tanto las de nueva construcción como las existentes.

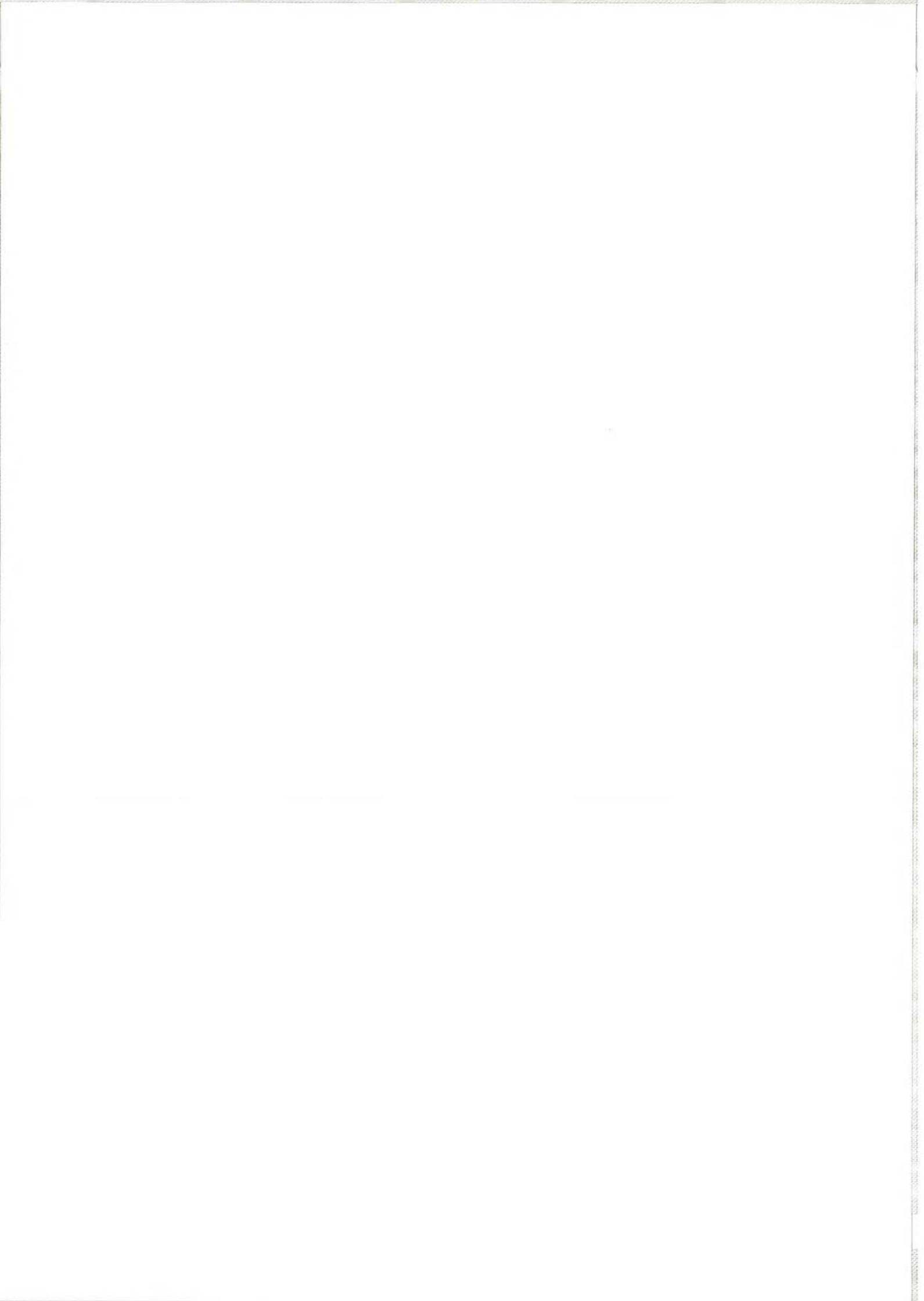
El planteamiento en Europa

El manual se ha elaborado para abordar las distintas circunstancias existentes en toda Europa, aunque existen importantes diferencias entre los países en lo que se refiere a los contextos culturales, políticos y científicos que repercuten en el desarrollo de infraestructuras de transporte a escala local, regional y nacional. Lo que es una buena solución en un país, puede que para otro sea menos eficaz o idónea. Por tanto, uno de los principales retos a los que nos enfrentamos a lo largo de la elaboración del manual

fue tener en cuenta esas diferencias. Es difícil encontrar un equilibrio entre las soluciones generales por una parte y las soluciones más concretas a escala local o regional. En este sentido, cabe destacar que en muchos países europeos ya existen manuales y directrices más detalladas y específicas sobre asuntos relacionados con el transporte. En el anexo de este manual se puede consultar un listado de estos documentos, así como en la base de datos COST 341.

Con todo lo dicho anteriormente, es importante destacar que no existen soluciones que sean efectivas al 100%. Las recomendaciones incluidas en este manual se basan en la experiencia acumulada de una amplia gama de expertos de los países participantes y de una serie de organismos internacionales, pero, aún así, será necesario adaptar y ajustar las medidas al contexto geográfico y a las necesidades y posibilidades específicas de cada lugar concreto. El manual, por tanto, no sustituye los siempre necesarios conocimientos de los ecólogos, urbanistas e ingenieros locales, sino que más bien pretende facilitar ideas y soluciones distintas a las usuales que pueden tomarse en consideración cuando se construyen nuevas vías o se plantea una modificación de las ya existentes.





Cómo utilizar este manual

Los efectos de las barreras y de la fragmentación se pueden eliminar o reducir al mínimo de formas diferentes y durante las distintas fases de diseño y funcionamiento de una infraestructura. Los problemas de la fragmentación se pueden evitar si se toman las decisiones correctas durante las primeras fases de planificación. El efecto de las barreras se puede reducir integrando las infraestructuras en el entorno, o construyendo pasos de fauna en determinados puntos. El objetivo en las infraestructuras existentes es mejorar su permeabilidad y desfragmentar el paisaje.

Las fases en el ciclo de vida de una infraestructura están más o menos bien diferenciadas (planificación, construcción y funcionamiento) y requieren la intervención de distintos profesionales. El manual se ha elaborado de forma que la información pertinente a cada una de las fases se pueda consultar con facilidad. Al final de cada página de separación se incluye un diagrama donde se detalla la fase a la que el capítulo se refiere (véase figura 2.1). Cada una de las páginas tiene el número del capítulo impreso en el margen.

El **capítulo 3** describe los distintos impactos ecológicos de las infraestructuras de transporte, como por ejemplo la pérdida de hábitat, los efectos de las barreras, la

mortalidad de fauna, la contaminación y el factor clave que trata este manual: la fragmentación del hábitat.

El **capítulo 4** explica la forma de elaborar soluciones integradas y evitar la fragmentación, subrayando la importancia de tener en cuenta la fragmentación del hábitat en las primeras fases de los proyectos de construcción de infraestructuras.

Los **capítulos 5-7** incluyen consejos para reducir al mínimo la fragmentación en las fases de planificación, diseño, construcción y funcionamiento de las infraestructuras de transporte.

A veces, es imposible evitar la fragmentación durante la planificación, así como tampoco sus efectos mediante medidas de mitigación. En dichos casos habrá que tener en cuenta algunas medidas compensatorias. Todo esto se trata en el **capítulo 8**.

El **capítulo 9** incluye directrices detalladas de control de las medidas de mitigación, así como consejos sobre aspectos de mantenimiento.

Los **anexos** incluyen: 1) un listado de abreviaturas, 2) un listado de participantes en el proyecto, 3) enlaces a sitios web de interés, 4) un listado de otros manuales y directrices de interés y 5) un listado de los productos de la Acción COST 341.

Figura 2.1 - Los capítulos del documento se refieren a distintas fases del desarrollo de la infraestructura.



- Cap. 1 Introducción**
Presentación de los aspectos tratados en el manual.
- Cap. 2 Guía del usuario**
Estructura del manual y cómo utilizarlo.
- Cap. 3 Efectos de las infraestructuras en la naturaleza**
Definición del concepto de fragmentación del hábitat e impactos ecológicos, primarios y secundarios, de las infraestructuras de transporte.
- Cap. 4 Desarrollo de soluciones integradas**
Planificación de nuevas infraestructuras de transporte o adaptación de las existentes. Planteamiento adoptado en este manual para reducir al mínimo la fragmentación del hábitat.
- Cap. 5 Herramientas de planificación**
Prevención de la fragmentación del hábitat en la fase de planificación en las infraestructuras nuevas y las ya existentes, aplicación de la Evaluación Estratégica y Evaluación del Impacto Ambiental. Costes y beneficios.
- Cap. 6 Integración en el paisaje**
Puntos más importantes para lograr la integración de la infraestructura en el paisaje, con un énfasis especial en los factores importantes para reducir al mínimo la fragmentación del hábitat.
- Cap. 7 Pasos de fauna y otras soluciones técnicas**
Elección y ubicación de las medidas de mitigación según las especies y hábitats de referencia. Ecoductos, pasos superiores e inferiores, pasos adaptados y de uso mixto. Medidas para evitar o reducir la mortalidad.
- Cap. 8 Medidas compensatorias**
Medidas que compensen las pérdidas de hábitat y otros impactos que no hayan podido ser evitados durante la planificación de la infraestructura.
- Cap. 9 Seguimiento y evaluación**
Directrices para diseñar los programas de seguimiento y para evaluar la eficacia de las medidas. Descripción de los diferentes métodos de seguimiento. Control de calidad.
- Cap. 10 Anexos**
1. Abreviaturas
2. Participantes
3. Páginas web relacionadas con el tema
4. Otros manuales y directrices
5. Productos de la Acción COST 341

1

2

3

4

5

6

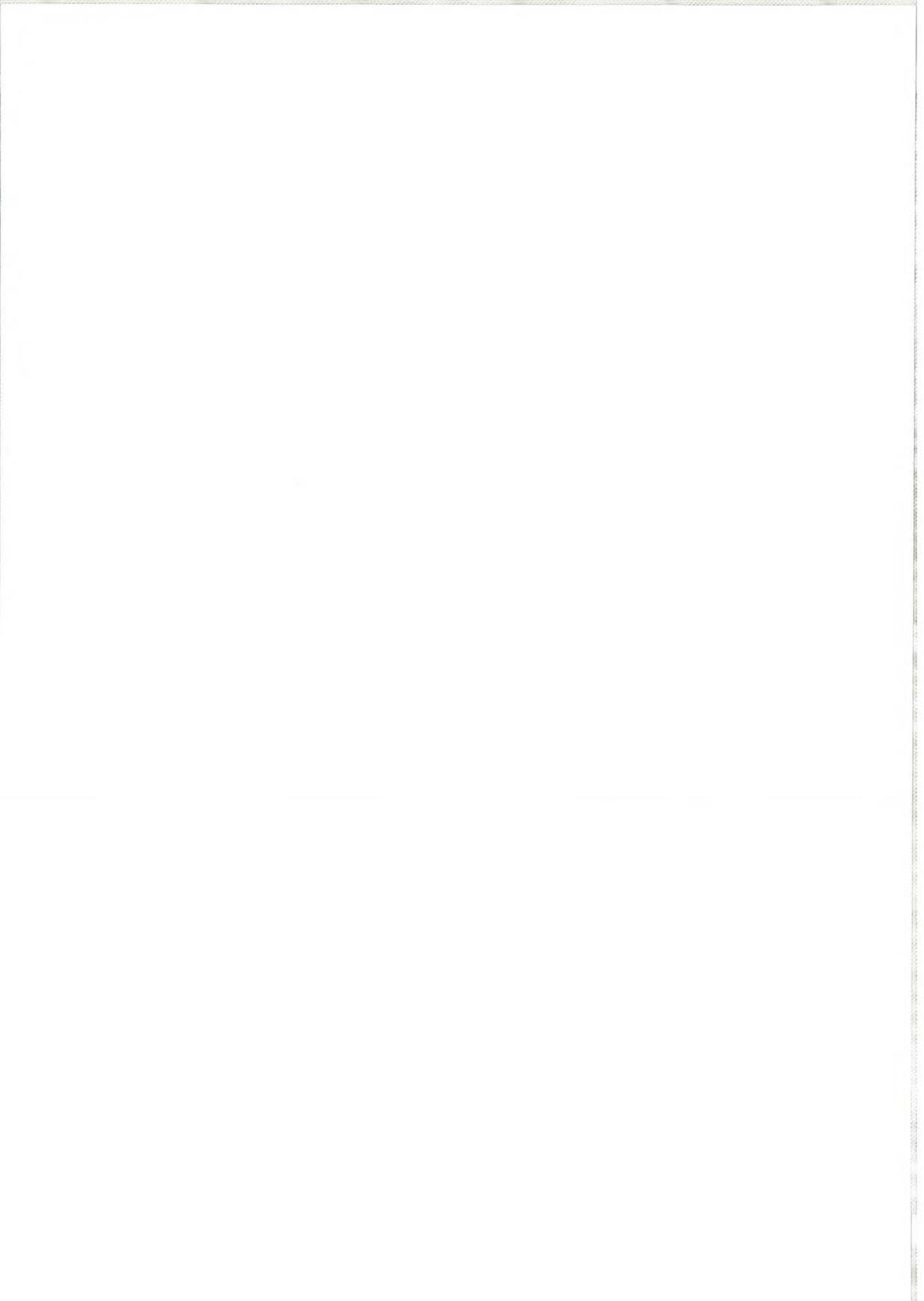
7

8

9

10

3 Efectos de las infraestructuras en la naturaleza



3.1 Definición de fragmentación del hábitat

Las redes de transporte dividen los hábitats naturales en fragmentos aislados y crean barreras entre ellas, situación que tiene dos efectos principales sobre las especies. En primer lugar, puede reducir el tamaño del fragmento del hábitat tanto que deje de ser un soporte viable para las poblaciones de las especies más sensibles. En segundo lugar, puede que el resto de fragmentos queden tan aislados que sea imposible que los animales puedan desplazarse de uno a otro. Al no poder moverse entre fragmentos, determinadas especies corren peligro

de extinción. Mediante estos procesos, la fragmentación del hábitat producida por las redes de transporte y obras secundarias que estas conllevan, se ha convertido en uno de los peligros globales más importantes para la diversidad biológica. Aunque las actividades humanas hace siglos que empezaron a fragmentar el paisaje, el rápido aumento en la densidad de las redes de transporte a partir de 1900 y el efecto de la mayor accesibilidad al medio natural han acelerado este impacto (Figura 3.1).

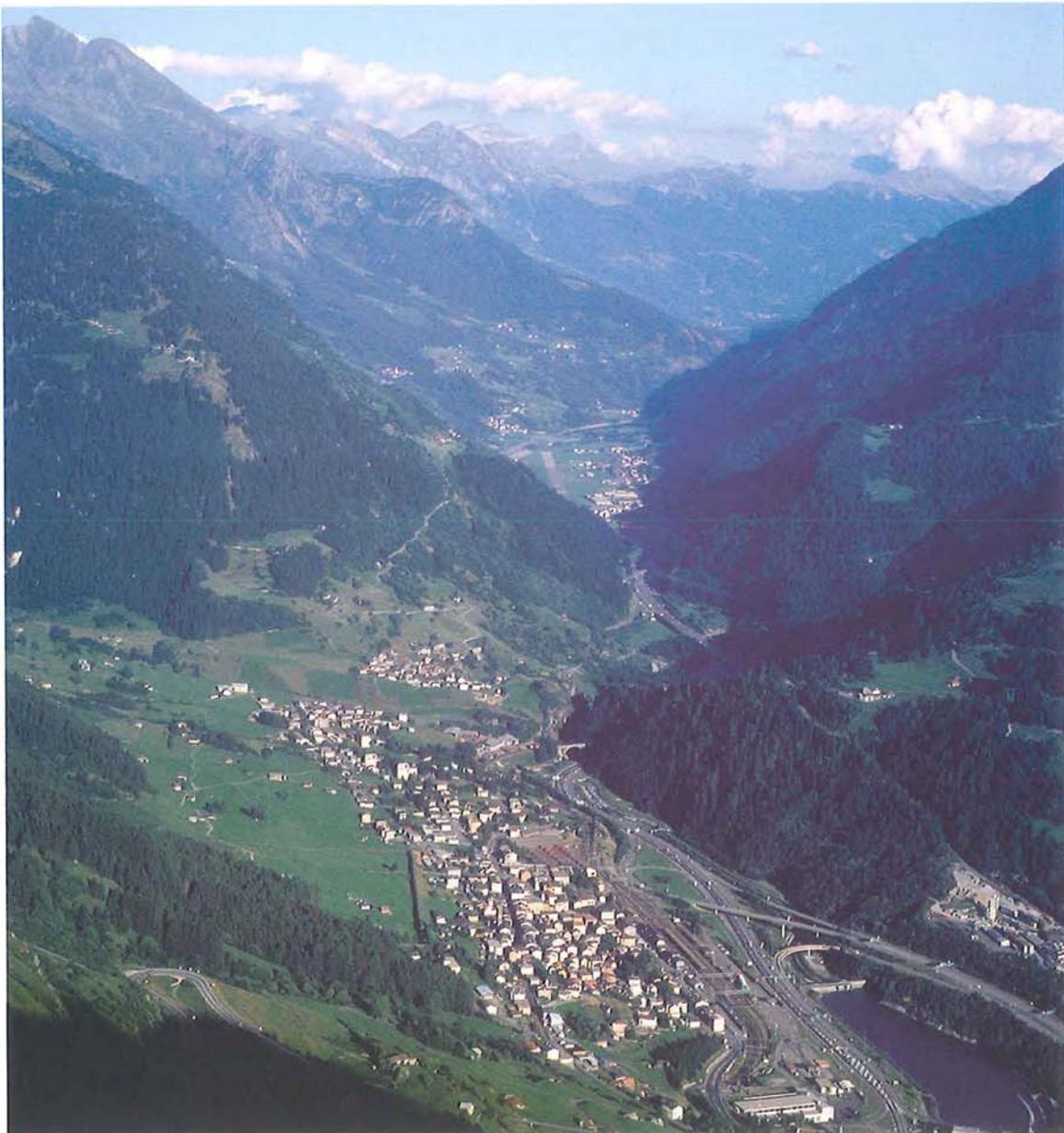


Figura 3.1 – En valles tales como el de Leventina, en los Alpes suizos, las vías férreas, autopistas y carreteras se concentran en el fondo del valle, constituyendo una considerable barrera. (Foto de V. Keller)

3.2 Efectos ecológicos de las infraestructuras de transporte

Las infraestructuras de transporte tienen efectos primarios y secundarios sobre la naturaleza. Se pueden distinguir cinco categorías principales de efectos ecológicos primarios que afectan de forma negativa a la biodiversidad, además de otra serie de efectos ecológicos secundarios (véase apartado 3.4 y Figura 3.2).

Los efectos ecológicos primarios son:

1. Pérdida de hábitat.
2. Efecto barrera.
3. Mortalidad causada por atropello y colisiones con vehículos.
4. Molestias y contaminación.
5. Función ecológica de los márgenes (taludes y, en general, bordes de la infraestructura).

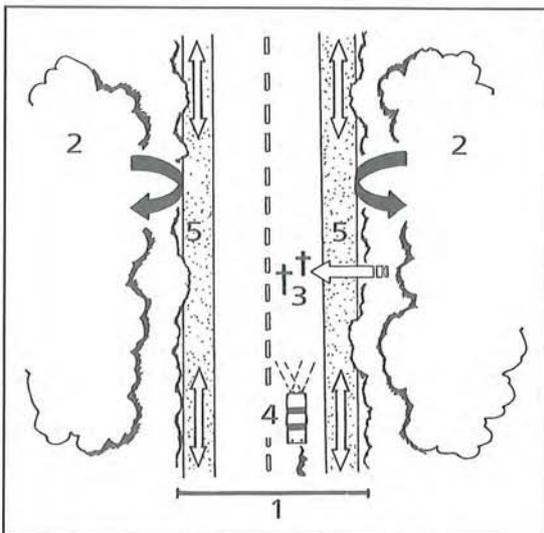


Figura 3.2 – Representación esquemática de los efectos ecológicos primarios de las infraestructuras de transporte. Los números se refieren a los del listado de efectos ecológicos que se han detallado en el texto.

En la práctica, estos efectos normalmente están relacionados entre sí y pueden aumentar de forma significativa su impacto negativo a través de efectos sinérgicos. Las consecuencias de la pérdida y deterioro del hábitat de los animales, y el efecto de las barreras, el aislamiento y las molestias se pueden resumir con el término fragmentación del hábitat.

3.3 Efectos ecológicos primarios

3.3.1 Pérdida de hábitat

El impacto directo de la construcción de carreteras es el cambio físico del terreno a lo largo de un trazado, sustituyendo o alterando el hábitat natural (Figura 3.3). El impacto de esta pérdida neta del hábitat natural se agrava por los efectos de las molestias y aislamiento que dan como resultado un cambio inevitable de la distribución de las especies en un territorio determinado. En España, las carreteras y sus márgenes representan el 1,3% de la superficie total, y en los Países Bajos alcanzan el 5%. Por tanto, a escala regional o nacional, la utilización directa que hacen del terreno las infraestructuras puede parecer un problema sin importancia. Pero localmente, sin embargo, la asignación de espacio para la construcción de infraestructuras entrará de forma inevitable en conflicto con otros usos que se pueda hacer del terreno tales como conservación de la naturaleza, agricultura, asentamientos humanos o fines recreativos.

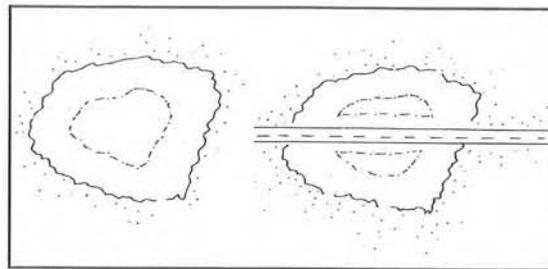


Figura 3.3 - Diagrama que muestra el impacto de una infraestructura en el núcleo central del hábitat. La superficie afectada en el núcleo es muy superior a la ocupada por la infraestructura, debido al efecto de borde a lo largo del trazado de la carretera.

3.3.2 Efecto barrera

El efecto barrera es posiblemente el impacto ecológico negativo más importante de las carreteras y las vías férreas. La capacidad de dispersión de los organismos vivos es uno de los factores claves para la supervivencia de las especies. La capacidad para desplazarse por un territorio determinado en busca de comida, refugio o para aparearse, se ve afectada de forma negativa por las barreras que causan el aislamiento del hábitat (Figura 3.4). Estos impactos afectan la dinámica de las poblaciones y ponen en peligro la supervivencia de las especies (Figura 3.5). La única forma de evitar el efecto barrera es conseguir que la infraestructura sea más permeable a los animales mediante la construcción de pasos de fauna, adaptando los trabajos de ingeniería o controlando la intensidad del tráfico. Pero el efecto barrera se puede reducir al mínimo si se elige con cuidado el trazado de la carretera.

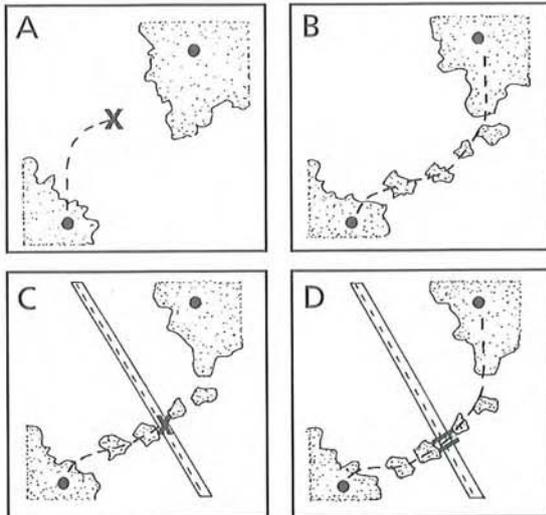


Figura 3.4 – Efecto de los corredores ecológicos y de las redes de carreteras en el desplazamiento de las especies por el territorio.

- A. Cuando las manchas de un mismo tipo de hábitat están muy separadas, los animales encuentran dificultades para dispersarse.
- B. Los pequeños fragmentos de hábitat pueden utilizarse como peldaños para conectar fragmentos de hábitat más distantes, constituyendo un corredor ecológico.
- C. Los corredores ecológicos que son interceptados por carreteras canalizan el desplazamiento de los animales y los dirigen hacia la calzada, donde pueden morir atropellados cuando intenten cruzarla.
- D. Medidas correctoras como pueden ser la construcción de pasos de fauna pueden servir para volver a conectar los corredores ecológicos.

Existen dos tipos de barreras:



Figura 3.5 – El tráfico crea problemas importantes para la población de nutrias en la República Checa. Las nutrias que emigran (en su mayoría machos) no utilizan los pasos de fauna para pequeños vertebrados e intentan cruzar por las calzadas. (Foto de V. Hlavác)

Barreras físicas. Para la mayoría de los grandes mamíferos, las infraestructuras de transporte suponen una barrera sólo si están valladas, o el tráfico rodado es muy intenso. Para los animales pequeños, en especial los invertebrados, la superficie misma de la carretera y los márgenes suponen una barrera considerable, bien porque el sustrato es inhóspito por las molestias.

Barreras de comportamiento. Muchas especies animales evitan las zonas cerca de las carreteras y vías férreas por las molestias derivadas de las actividades humanas (densidad del tráfico, construcciones secundarias). Los renos de Noruega, por ejemplo, infrutilizan los pastizales que están a menos de 5 kilómetros de las carreteras. Otros animales, como los pequeños mamíferos y algunas aves forestales evitan cruzar los espacios abiertos.

Tabla 3.1 – Relación entre la intensidad del tráfico y el efecto barrera en los mamíferos. Los vallados perimetrales aumentan el efecto barrera. Sin embargo, las vallas cerca de los pasos de fauna, se pueden utilizar para dirigir a los animales de forma segura hacia esos pasos.

Intensidad del tráfico	Permeabilidad
Carretera con tráfico inferior a 1.000 vehículos/día	Permeable a la mayoría de las especies
Carreteras con 1.000 a 4.000 vehículos/día	Permeable a algunas especies pero evitada por las especies más sensibles.
Carreteras con 4.000 a 10.000 vehículos/día	Las barreras, el ruido y el movimiento de vehículos pueden ahuyentar a muchos animales. Otros tratan de cruzarla y son atropellados.
Autopistas con nivel de tráfico superior a 10.000 vehículos/día	Impermeable a la mayoría de las especies

La construcción de dos o más formas de transporte a lo largo del mismo trazado (o muy cerca) puede ser beneficioso para algunas especies ya que solo se crea una barrera. Por consiguiente, ofrece muchas ventajas colocar dos o más trazados paralelos tan cerca como sea posible, especialmente en el caso de corredores de transporte multimodales (carreteras y vías férreas). La desventaja de los corredores multimodales de transporte es que pueden aumentar el efecto barrera para algunas especies. Existen pruebas documentadas de soluciones combinadas que actúan como barrera importante, fragmentando los hábitats de montaña y aislando las poblaciones de fauna. Cuando no se construyen infraestructuras paralelas en un solo corredor, las zonas intermedias pueden sufrir una importante disminución de la biodiversidad.

3.3.3 Mortalidad causada por atropello y colisiones con vehículos

La mortalidad es probablemente el impacto más conocido del tráfico en los animales. Millones de animales de una gran variedad de especies mueren en las carreteras y vías férreas cada año, y muchos más sufren graves heridas. Un gran número de los accidentes de la fauna no supone necesariamente un peligro para las poblaciones, pero indican que las especies que los sufren son muy abundantes en una zona concreta. La mortalidad por atropello es responsable de solo una pequeña parte (1-4%) de la mortalidad total de especies comunes (como algunos roedores, conejos, zorros, gorriones, etc.). Sin embargo, para las especies más sensibles, el tráfico puede ser una causa importante de mortalidad y un factor significativo para la supervivencia de la población local. En Flandes, por ejemplo, más del 40% de la población de tejones muere cada año en las carreteras. Estas pérdidas representan un peligro grave para la supervivencia a largo plazo de los tejones en la región. Otro caso destacable es el del lince ibérico, amenazado de extinción, y que tiene en los atropellos una de las causas más significativas de mortalidad.

El número de accidentes de las aves también puede ser importante. Las carreteras con un trazado paralelo a humedales, o que los cruzan, interceptan zonas con una elevada densidad y diversidad de aves, las cuales se ven obligadas a cruzar esas vías, aumentando el riesgo de mortalidad debido a colisiones con vehículos. Las aves más grandes, como las rapaces o los búhos, se ven atraídas por los pequeños mamíferos y poblaciones de passeriformes que se concentran en las zonas cubiertas de hierba al lado de las carreteras. Un gran número de aves de este tipo sufre accidentes cuando van a capturar una presa.

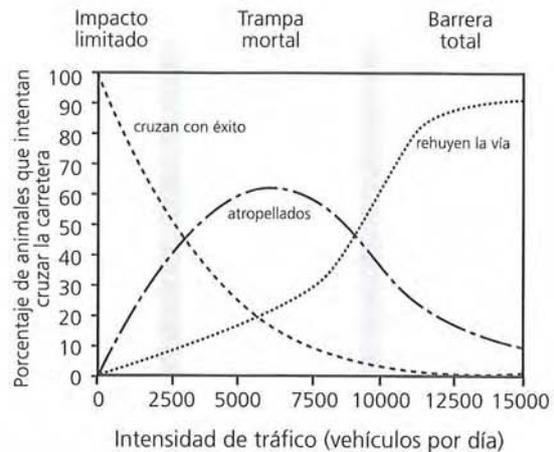


Figura 3.6 – Con una baja intensidad de tráfico (<2.500) la pequeña proporción de accidentes que sufre la fauna provoca un impacto limitado en la proporción de animales que logran cruzar una carretera. Con una intensidad media (2.500-10.000) el número de accidentes es alto, el número de animales ahuyentados por la infraestructura aumenta y la proporción de los que logran cruzarla disminuye. Con una intensidad de tráfico alta (>10.000) la proporción de animales ahuyentados es mas alta y a pesar de la baja proporción de accidentes de la fauna solo unos pocos logran cruzar la carretera. (Gráfico de Andreas Seiler, inédito)

La intensidad de tráfico condiciona la mortalidad por atropello y el efecto barrera de la infraestructura (Figura 3.6).

Las especies particularmente sensibles a las barreras que suponen las carreteras y a la mortalidad por el tráfico son las siguientes:

- Especies poco comunes con pequeñas poblaciones locales y amplias áreas de campeo, como los grandes carnívoros.
- Especies que muestran desplazamientos diarios o estacionales entre distintos hábitats locales. Los anfibios son especialmente sensibles a la mortalidad de las carreteras, en determinadas estaciones, cuando las tienen que cruzar para ir a lagunas o riachuelos para reproducirse. Algunas especies de ciervos utilizan diferentes hábitats a lo largo del día y tienen que cruzar carreteras o vías férreas a diferentes horas para satisfacer esta necesidad.
- Las especies que tienen que recorrer grandes distancias debido a migraciones en determinadas estaciones, como el alce y el reno.



Figura 3.7 – Una colisión con mamíferos grandes como el alce puede ser dramática, y estos accidentes constituyen un importante problema para la seguridad vial. Para los mamíferos más pequeños y algunas aves, p.ej. la lechuza común, la mortalidad en las carreteras puede tener un impacto importante para las poblaciones locales. (Fotos: alce de H. Corneliussen, Fædrelandsvennen y lechuza común de G. Veenbaas)

La mayoría de las medidas para reducir el número de accidentes en las carreteras se adoptan para conseguir una mayor seguridad del tráfico, sobre todo cuando en los accidentes pueden intervenir alces, ciervos, jabalíes u osos (Figura 3.7). Normalmente las medidas que se adoptan son las que impiden el acceso de los animales a la carretera o vía férrea, olvidándose de la necesidad de crear elementos que dirijan a los animales a los puntos por donde puedan cruzarla.

La intensidad y concentración de accidentes en las carreteras y ferrocarriles varía en función de factores tales como la temperatura, las precipitaciones y la hora del día y su tendencia es que sigan los ritmos diarios de tráfico y actividades animales. En la variación en accidentes de la fauna según estaciones influyen factores como la reproducción, la dispersión, los patrones de migración estacional y las molestias estacionales, como la caza por ejemplo. Por ejemplo, el otoño es una de las épocas más problemáticas, en la que se concentra la mayor parte de colisiones con ungulados como el ciervo y el jabalí, debido a la coincidencia de los periodos de celo y de caza.

El trazado de las infraestructuras de transporte también influye en los niveles de mortalidad de los animales

por accidentes de tráfico. Las carreteras con un trazado paralelo, o que cruzan los bordes entre bosques y pastizales son especialmente peligrosas para los animales que acuden regularmente al bosque para refugiarse y a los pastizales donde se alimentan.

3.3.4 Molestias y contaminación

La construcción de carreteras y vías férreas alteran las características ecológicas de los hábitats adyacentes que pueden inducir cambios en la forma en que son utilizados por la fauna y flora. Muchos de estos cambios pueden afectar a la calidad del hábitat a una distancia significativa de la infraestructura. A continuación se exponen algunos ejemplos de alteraciones asociadas a las infraestructuras de transporte.

Cambios hidrológicos. Los terraplenes y desmontes cambian la topografía del terreno e inducen cambios hidrológicos a gran escala. Los desmontes pueden aumentar la erosión del suelo y secar los acuíferos. Los terraplenes pueden cambiar el régimen hídrico produciendo condiciones bien de humedad o de sequía que a su vez, afectan a la vegetación.

Contaminación química. El tráfico y el asfalto generan una gran variedad de contaminantes. Los gases de escape de los vehículos de motor producen por ejemplo monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, anhídrido sulfuroso, hidrocarburos, como es el caso de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), dioxinas y partículas. Los vehículos producen metales pesados como el plomo, zinc, cobre y cadmio. Contaminantes tales como el sodio y el cloro surgen de la sal aplicada en carreteras de montaña para el deshielo (Figura 3.8). Estos productos químicos contaminan la superficie y las aguas subterráneas, así como los suelos y la vegetación de los alrededores de las carreteras. Los compuestos que contienen nitrógeno y azufre contribuyen a la acidificación y a la eutrofización. Los contaminantes



Figura 3.8 – La contaminación por el tráfico tiene efectos secundarios tales como la contaminación por las sales que se echan para el deshielo, que dañan gravemente la vegetación a lo largo de las carreteras, según se puede apreciar en esta foto de una carretera en Noruega. (Foto de M. Smeland)

pueden provocar daños o alteraciones de las funciones biológicas a varios niveles, a células, individuos o poblaciones.

Ruido y vibraciones. Las alteraciones por el ruido se producen principalmente según el tipo de tráfico, la intensidad, las características de la superficie de la carretera, la topografía, el tipo de vía y la estructura y tipo de la vegetación adyacente. Las características geológicas y del terreno influyen en la magnitud y amplitud de las vibraciones. Algunas especies no se acercan a las zonas con mucho ruido. Por ejemplo, en los Países Bajos, se observó que la densidad de aves disminuyó en los sitios donde el ruido por el tráfico superaba los 50 dBA, mientras que las aves forestales son sensibles a niveles de ruido tan bajos como los 40 dBA. Algunas especies nidifican en zonas con altos niveles de ruido, pero con menor éxito reproductivo.

Molestias visuales por la iluminación. Las luces artificiales pueden afectar al ritmo normal de crecimiento de las plantas, así como los comportamientos de reproducción y alimentación de las aves, influyendo también en las costumbres nocturnas de los anfibios. Las luces pueden atraer también a los insectos, especialmente si se trata de lámparas de mercurio, y a su vez aumentar la densidad de murciélagos a lo largo de las carreteras, produciendo por ello una mayor mortalidad entre estos animales.

3.3.5 Función ecológica de los márgenes

El valor de los márgenes de las infraestructuras es un asunto muy debatido, ya que pueden constituir un nuevo hábitat para algunas especies, pero también pueden conducir a los animales a lugares donde la mortalidad es mucho más alta, o incluso fomentar la propagación de especies invasoras. La función de los márgenes depende de su ubicación geográfica, la vegetación, el hábitat adyacente, gestión y tipo de infraestructura (Figura 3.9). Los valores positivos son más comunes en el centro y norte de Europa, donde los márgenes pueden incluso servir para conectar redes ecológicas o como corredores para que se puedan desplazar animales en entornos altamente transformados por la agricultura intensiva y la urbanización. En cambio, en el sur de Europa es donde estos efectos positivos son menos importantes y se producen más problemas.

Función de hábitat. Los numerosos inventarios realizados en países muy urbanizados indican el potencial de los márgenes como un hábitat para la fauna y la flora. Bien gestionados, los márgenes de la infraestructura pueden complementar y enriquecer las zonas donde la vegetación natural se ha reducido considerablemente. Sin embargo, los márgenes no pueden sustituir por completo un hábitat natural, debido a la contaminación y molestias. Por ello, las comunidades vegetales que viven al lado de las carreteras están compuestas por una alta proporción de especies no autóctonas y ruderales.

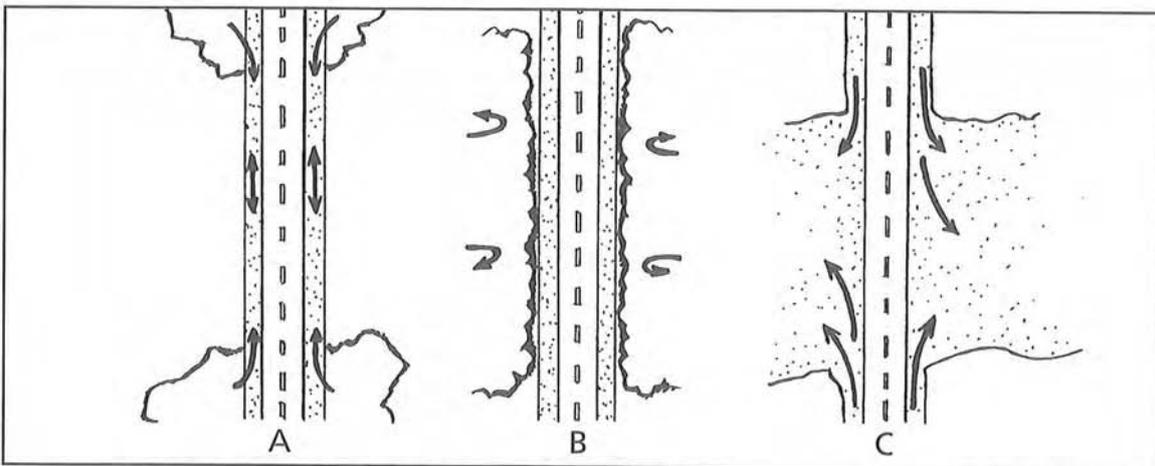


Figura 3.9 – La función de corredor de los márgenes en diferentes terrenos.

- En hábitats abiertos y agrícolas, los márgenes de la carretera con vegetación pueden servir de hábitat y corredor para el desplazamiento de la fauna.
- En zonas con hábitats naturales, los márgenes de la carretera amplios y con vegetación herbácea, pueden aumentar el efecto barrera de las carreteras para las especies forestales, pero también aumentan el efecto corredor y pueden servir como nuevo hábitat para otras.
- Los márgenes pueden servir de base para especies autóctonas que se estén dispersando o recolonizando hábitats, pero también pueden favorecer que las especies invasoras colonicen los hábitats naturales o que se propaguen las especies depredadoras oportunistas.

En los países más urbanizados, los márgenes pueden suponer un hábitat importante para la fauna y flora natural. En los Países Bajos, 796 especies de plantas (más del 50% de todas las especies de flora) viven en estos márgenes. No solo se pueden encontrar especies muy comunes, sino también algunas especies bastante raras. 160 especies raras (que representan el 10% del total nacional) se pueden encontrar en los márgenes. En los Países Bajos son raros los pastizales con una fertilización baja a moderada, debido a la agricultura intensiva, por lo que los márgenes son refugios importantes de especies que requieren este tipo de hábitat. La gestión de los márgenes ha cambiado. En la década de los 50 a 60 se cortaba regularmente la hierba, pero en la actualidad se corta tan solo una o dos veces por año. El resultado ha sido márgenes más coloridos que sirven de hábitat para el 50% de las especies de mariposas holandesas (es decir, 80 especies). Se estima que pueden sobrevivir 22 especies en la red de márgenes de las carreteras. Algunas especies en peligro de extinción en los Países Bajos como *Aricia agestis* y *Coenonympha pamphilus* pueden vivir en estos márgenes.



Figura 3.10 – Las especies invasoras se pueden propagar por los corredores de transporte. En España, el senecio del Cabo, una planta tóxica para el ganado, se ha propagado aprovechando los márgenes de las carreteras. (Foto de E. Bassols)

La gestión de los márgenes tiene un gran impacto en su valor como hábitat para la flora y fauna. Las operaciones que afectan a la biodiversidad incluyen: poda de árboles y arbustos, siega de hierba, limpieza de drenajes, túneles, pasos de fauna y otras medidas. Para realizar una buena gestión ecológica de los márgenes se tiene que programar con precisión la época de siega de la hierba, para que se parezcan lo más posible a las praderas, con especies autóctonas, reduciendo al mínimo las intervenciones en la época de reproducción y el uso de productos químicos para el control de insectos y eliminación de maleza. La gestión ecológica de los márgenes puede aumentar la biodiversidad local, pero sin una cuidadosa planificación pueden aumentar los atropellos de fauna o ser trampas ecológicas para algunas especies ya que las atrae hacia hábitats con alto riesgo de mortalidad. Por tanto la planificación debe respetar las circunstancias locales.

Función de corredor. Los márgenes de las carreteras y vías férreas pueden servir de corredores para la fauna, facilitando el desplazamiento de las especies a lo largo de su trazado. Estos corredores tienen efectos positivos y negativos.

- Efectos positivos. Se han observado efectos positivos para algunas especies de pequeños mamíferos e insectos, pero estos corredores también pueden servir de acceso para la fauna a las áreas urbanas, como en el caso de los corzos, zorros, tejones que en algunos países de centro Europa acceden a núcleos urbanos siguiendo los márgenes de carreteras.

Los márgenes anchos con poca vegetación que separan las carreteras y las vías férreas del bosque, pueden servir para reducir los accidentes entre coches y grandes mamíferos, ya que ofrecen una mayor visibilidad tanto para animales como para conductores. Los márgenes se consideran componentes muy importantes de las redes ecológicas de algunos países del norte o centro de Europa en los que el paisaje está muy transformado por la urbanización y la agricultura.

- Efectos negativos. Pueden favorecer a las especies invasoras, a lo largo de los corredores debido a las corrientes de aire creadas por el tráfico, o por las semillas y propágulos que se transportan adheridos a los vehículos y se dispersan por las zonas adyacentes a las vías. Ejemplos como el rododentro en el Reino Unido y el senecio del Cabo en España, una planta tóxica para el ganado (Figura 3.10), son una prueba de que las especies invasoras se pueden propagar con rapidez por grandes zonas geográficas con la ayuda de las infraestructuras de transporte. Los márgenes

adyacentes a las carreteras también pueden ser el foco de incendios forestales en países del Mediterráneo. En España, por ejemplo, más del 20% de los incendios forestales en el año 2000 se iniciaron en los márgenes de las carreteras (principalmente porque se arrojan colillas de cigarrillos) y en menor medida, en los márgenes al lado de las vías férreas.

Las carreteras y las vías férreas también pueden servir de corredores para la fauna, facilitando el desplazamiento de las especies invasoras a lo largo del territorio. La conexión de las islas con tierra firme mediante puentes, también puede facilitar la introducción de animales como la marta o el zorro, predadores de colonias de aves que de otra manera estarían seguras. El resultado es una mayor mortalidad de estas aves.

Los márgenes no tienen el mismo valor que los corredores naturales, ya que las condiciones del hábitat en los márgenes de las carreteras y vías férreas no son constantes en todo su recorrido y varían mucho en cuanto a su calidad. Las carreteras, por ejemplo, cruzan otras infraestructuras y pueden llevar a los animales a esos cruces, donde el riesgo de sufrir accidentes es mucho más alto. Los márgenes amplios a los lados de la carretera diferentes a la vegetación del entorno (por ejemplo, márgenes con hierba en zonas boscosas) pueden reforzar el efecto barrera de la carretera y aumentar el aislamiento del hábitat.

3.4 Efectos ecológicos secundarios

Los cambios de uso del suelo, los patrones de asentamientos humanos, o el desarrollo industrial inducido por la construcción de infraestructuras de transporte son efectos secundarios que pueden intensificar notablemente los efectos negativos en la conservación de la diversidad biológica que genera la propia red de transporte. Los nuevos asentamientos y edificaciones pueden dar como consecuencia la construcción de nuevas carreteras regionales y provocar a su vez la construcción de carreteras locales de acceso. Estos efectos secundarios, aunque no son responsabilidad directa del sector de transporte, hay que tenerlos en cuenta en las Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAE) y en las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) (véase Capítulo 5). En algunas zonas, el desarrollo de sectores urbanizados a lo largo de las redes de carreteras, suponen una amenaza importante para las estrategias de conservación de la fauna y flora. En estas zonas puede ser necesario adoptar medidas de reducción del tráfico o incluso clausurar carreteras locales de las que se pueda prescindir debido a la creación de nuevos ejes viarios (véase Capítulo 7).

Uno de los peligros secundarios asociados a la construcción de infraestructuras es el aumento de las perturbaciones generadas por las actividades humanas. Las pequeñas carreteras de acceso a los bosques posibilitan que cazadores y turistas accedan a hábitats de fauna y flora que de otra manera no visitarían. En algunos casos no se han construido aparcamientos, o zonas de descanso, para reducir al mínimo las molestias que se producen a hábitats sensibles, como los humedales, importantes para las aves acuáticas. Sin embargo, una vez construidas las infraestructuras, es muy difícil limitar el acceso a los terrenos adyacentes que tengan un alto valor de conservación. Durante la fase de planificación, por tanto, se deben contemplar planes para controlar el número de personas que acceden a esos lugares, e implementarlos al tiempo que se construyen las infraestructuras.

3.5 Perspectiva de la ecología del paisaje

Los estudios sobre el efecto de las carreteras en el paisaje a escala regional todavía están en estado embrionario. Del estudio de los procesos ecológicos a gran escala se encarga la ecología del paisaje, que es todavía una ciencia aplicada reciente con nuevos métodos, técnicas y aplicaciones. Es muy importante tener en cuenta los efectos a escala de paisaje de los planes de construcción de infraestructuras, ya que estos procesos pueden tener un impacto muy importante en la naturaleza. Sin embargo, se requieren muchos recursos para recopilar datos empíricos de los efectos a largo plazo de la fragmentación producida por las infraestructuras de transporte. Para estudiar los posibles conflictos entre los intereses de conservación de la diversidad biológica y la construcción de infraestructuras, se están utilizando nuevas herramientas como, por ejemplo, simulaciones por ordenador y modelación espacial. En el futuro, serán herramientas muy importantes para establecer los criterios de diseño operativo de las infraestructuras. Los datos sobre el territorio aportados por las imágenes de satélite, junto con los análisis de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) son recursos prometedores para planificar el trazado de las carreteras con los mínimos efectos negativos en lo que se refiere a la fragmentación del hábitat.

4 Desarrollo de soluciones integradas

4.1 Medidas para afrontar la amenaza de la fragmentación de hábitats

Las buenas prácticas que promueve este manual para la planificación de nuevas vías de transporte y mejora de las existentes, plantean una aproximación desde tres principios básicos en los que debe basarse la lucha contra la fragmentación del hábitat (Figura 4.1).



Para evitar los efectos negativos de la fragmentación del hábitat, la idea básica es que "prevenir es mejor que curar". Cuando la prevención de la fragmentación no sea técnicamente viable, las medidas correctoras deben ser incluidas ya en las fases iniciales de los estudios informativos y, posteriormente, en los proyectos constructivos. En las zonas en que las medidas correctoras sean insuficientes, o sigan produciéndose impactos residuales significativos, como último recurso se pueden aplicar medidas compensatorias. Aunque en principio las medidas que se presentan en este Manual están pensadas para carreteras o ferrocarriles de nueva construcción, algunas de ellas también se pueden aplicar a infraestructuras en funcionamiento, en el momento que se realicen trabajos de mantenimiento o de acondicionamiento, y considerando su relación con otras fuentes de fragmentación y el uso, por parte de la fauna, de las estructuras de ingeniería existentes.

Aplicando este procedimiento, las dos cuestiones más importantes que hay que plantearse son cual es el momento más adecuado para la introducción de cada tipo de medidas y cuáles son los criterios para lograr que sean eficaces. Con este planteamiento, cuando se planifiquen las infraestructuras será necesario considerar no solo las zonas aledañas al trazado, sino que debe tenerse en cuenta un contexto paisajístico más amplio. También será necesario evaluar el proyecto en el marco de toda la red de infraestructuras, así como los aspectos relacionados con los usos del suelo, tales como las estrategias de planificación urbanística y las directrices tanto a nivel regional como estatal o

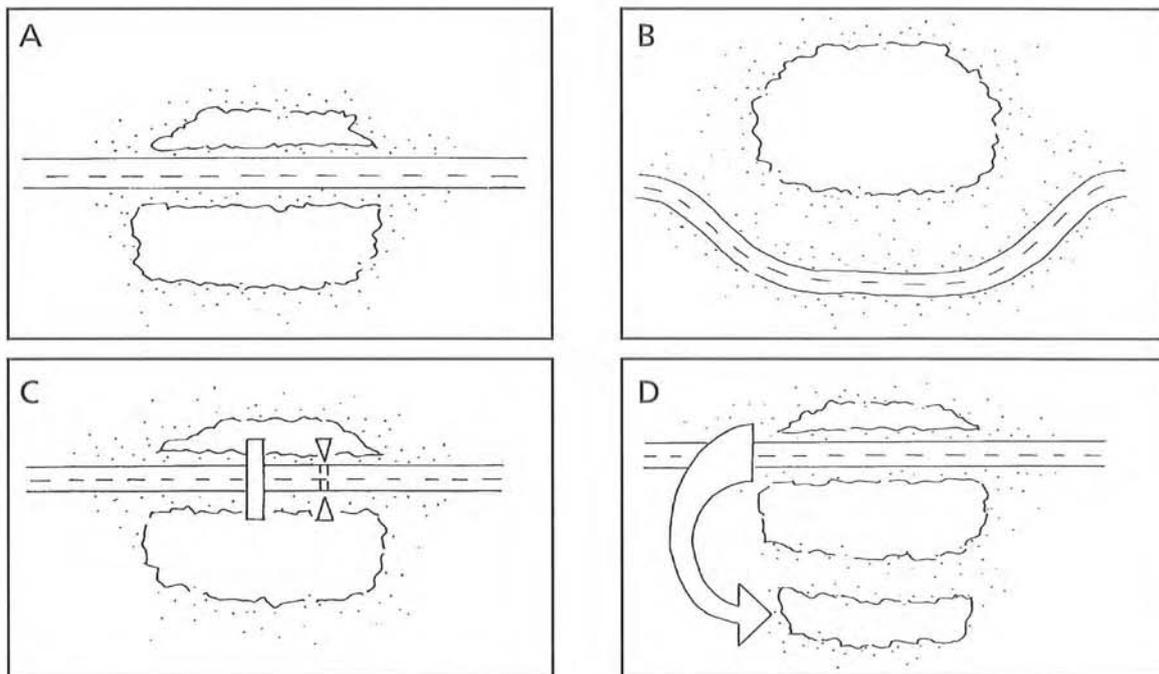


Figura 4.1 - Representación esquemática de A) fragmentación, B) medida preventiva, C) medida correctora y D) medida compensatoria



Figura 4.2 - La infraestructura de transporte puede fragmentar los hábitats, como en el caso de la autopista A36, Alsacia, Francia. Su intersección con una carretera secundaria incrementa la fragmentación de los hábitats forestales por los que discurren los trazados (Bosque de La Hardt). (Foto de J. Carsignol)

internacional. Uno de los aspectos fundamentales que hay que tener en cuenta en el análisis del corredor por el que discurrirá la infraestructura son los usos del suelo actuales y los contemplados en el planeamiento urbanístico vigente, ya que determinados usos pueden reducir considerablemente la eficacia de cualquier medida de mitigación y compensación.

Identificación de las áreas a preservar del efecto de fragmentación de hábitats

La evaluación de la zona de estudio debe contemplar la identificación de áreas y elementos de interés para la conservación de la biodiversidad y también las limitaciones derivadas de la legislación ambiental. Para la identificación de estas áreas se pueden utilizar criterios tales como la diversidad del hábitat, rareza del hábitat, su estado de conservación, presencia de elementos paisajísticos relevantes, diversidad de especies, presencia de especies protegidas o incluidas en listas rojas, directivas europeas o convenios internacionales. Todo esto se explica con más detalle en el Capítulo 5.

Los criterios de conservación son la base para analizar los posibles efectos negativos del trazado de la infraestructura, así como para identificar los puntos de conflicto entre la conservación de los elementos naturales de interés y las alternativas de trazado

planteadas. La sensibilidad del hábitat y las poblaciones a la fragmentación, la movilidad de los animales, la superficie del terreno en el que viven y su sensibilidad a las molestias, son factores ecológicos que hay que tener en cuenta cuando se realice esta evaluación.

Todos los esfuerzos se deben dirigir hacia el mantenimiento de estructuras ecológicas que conecten los hábitats y las poblaciones. En este sentido, se debe prestar especial atención a los ríos, arroyos, bosques ribereños, corredores forestales e incluso redes de setos y márgenes de cultivos, que pueden ser el refugio de muchas especies en terrenos intensamente transformados por la actividad humana.

Es importante que los trabajos de ingeniería para la construcción y mantenimiento de las infraestructuras de transporte se coordinen a todos los niveles, para que afecten lo menos posible a la conservación de hábitats y especies. No cabe olvidar que pequeños cambios en el diseño del trazado, o en las especificaciones técnicas, pueden tener beneficios muy significativos para la fauna y flora a escala local (véase Capítulo 7).

Prevención

Prevenir los impactos ecológicos no construyendo la infraestructura propuesta puede ser la única solución para no fragmentar los hábitats más vulnerables.

Adaptar el trazado de la infraestructura para no fragmentar los hábitats vulnerables (Figura 4.3), reducir la superficie de terreno utilizado por la carretera o reducir las molestias a los hábitats adyacentes, reducen el impacto pero no evitan completamente la fragmentación. Prevenir la fragmentación del hábitat debería ser uno de los principios básicos a considerar en:

- Las fases de planificación, diseño, construcción y mantenimiento de la infraestructura, así como en la mejora de las carreteras y vías férreas existentes.
- La implicación de los agentes sociales interesados, que pueden participar desde las etapas iniciales, en la recogida de datos durante el proceso de EAE/EIA.
- La cooperación entre las organizaciones y autoridades pertinentes.
- El compromiso de un planteamiento multidisciplinar integrado en el marco del proceso de planificación, en el que se tengan en cuenta todos los intereses durante la evaluación de los planes de desarrollo de infraestructuras.

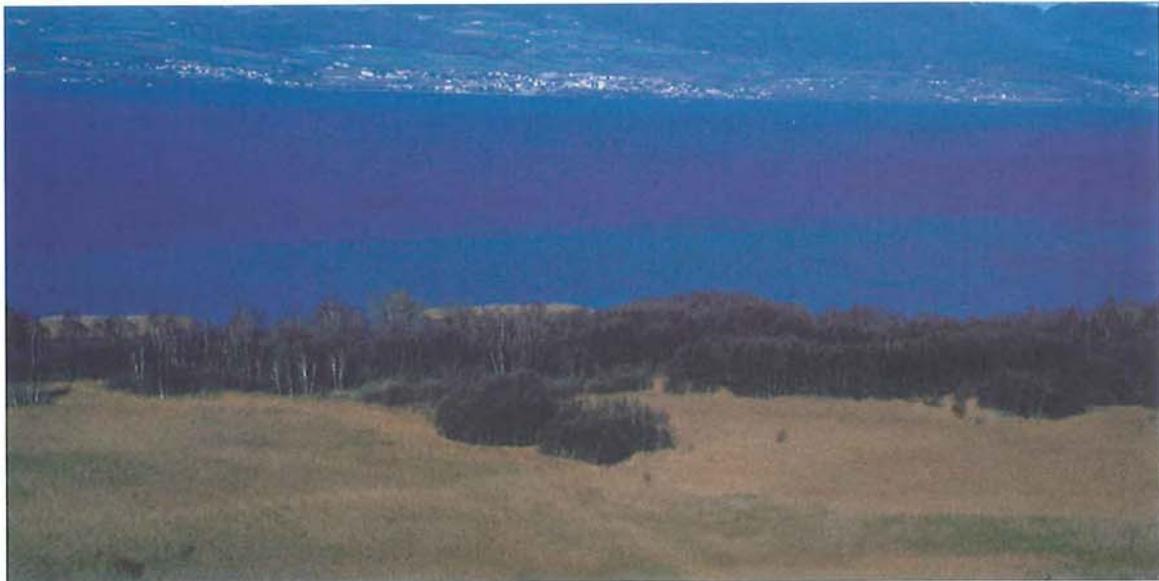


Figura 4.3 – La autopista A1 en Suiza se proyectó inicialmente con un trazado que transcurría por la orilla sur del Lago Neuchâtel, fragmentando el mayor humedal del país. Para evitarlo, se eligió una ruta alternativa más alejada del lago. (Foto de V. Keller)



Figura 4.4 – El efecto barrera de la infraestructura se puede reducir aplicando medidas correctoras. Este es un paso superior cerca de Lipník nad Bečvou, República Checa, frecuentemente utilizado por muchas especies, incluido el corzo y el oso. (Foto de V. Hlaváč)



Figura 4.5 – Si la prevención o corrección del impacto es imposible, el último recurso es compensar la pérdida de hábitat creando uno nuevo, como en el caso de la A46 Batheaston, Reino Unido. (Foto de Highways Agency)

Corrección

El efecto barrera de la infraestructura de transporte (véase Capítulo 3) se puede mitigar utilizando diversos tipos de medidas, como la construcción de pasos superiores o inferiores para poder mantener la conectividad del paisaje (Figura 4.4), construyendo pasos específicos para la fauna, o adaptando las estructuras transversales (drenajes u obras destinadas a restitución de caminos y vías pecuarias) para que sirvan como vías de dispersión de fauna y flora. Todas estas medidas se especifican en el Capítulo 7. Los puntos más importantes para definir las medidas correctoras que hay que aplicar son: 1) cuál es el problema y dónde está localizado; 2) qué clase de medidas son las más adecuadas para resolverlo; 3) cuál es el diseño idóneo para conseguirlo.

Compensación

En casos excepcionales, las infraestructuras pueden llegar a construirse aun cuando la fragmentación sea inevitable y las medidas preventivas y correctoras no puedan reducir la pérdida, daño o degradación del hábitat. En estos casos, la única alternativa posible es la introducción de medidas compensatorias, mediante la creación de nuevos hábitats de superficie y calidad equivalente a los afectados (Figura 4.5), para conseguir que no se produzca una pérdida de hábitats por la construcción de la infraestructura (véase Capítulo 8).

Seguimiento

Todas las medidas (preventivas, correctoras y compensatorias) deben ser objeto de control y seguimiento para evaluar su efectividad y garantizar que se cumplen los estándares de calidad y se alcanzan los objetivos para los que han sido diseñadas (véase Capítulo 9).

4.2 La importancia del estudio de la fragmentación del hábitat en las fases iniciales

Al construir nuevas infraestructuras de transporte, la selección del mejor trazado puede reducir al mínimo los conflictos y la necesidad de aplicar posteriores medidas correctoras, tales como los pasos de fauna. Para ello se requiere la participación de expertos en ecología en todas las fases de la planificación, desde los estudios informativos iniciales hasta la elaboración del proyecto constructivo. La participación de los agentes sociales locales y la cooperación de las organizaciones conservacionistas en las fases iniciales de planificación de nuevos trazados, también es fundamental para garantizar que se eligen las mejores soluciones posibles. En los casos en los que haya que introducir medidas de mitigación, éstas deben formar parte íntegra del proceso de planificación, donde se consideran todos los demás aspectos importantes en el diseño de la infraestructura. Los efectos de la fragmentación, por tanto, se deben contemplar desde una perspectiva amplia junto con las limitaciones técnicas y los costes, los efectos sobre el paisaje, el patrimonio cultural, las actividades forestales, agrícolas y forestales, así como sus impactos en la naturaleza.

La evaluación de los posibles efectos de la fragmentación o barrera durante la fase inicial del proceso de planificación puede ahorrar muchos costes. Las medidas de mitigación serán más eficaces si se integran durante la planificación del proyecto, siendo más económicas que las medidas que se implantan una vez construida la infraestructura.

4.3 Soluciones integradas

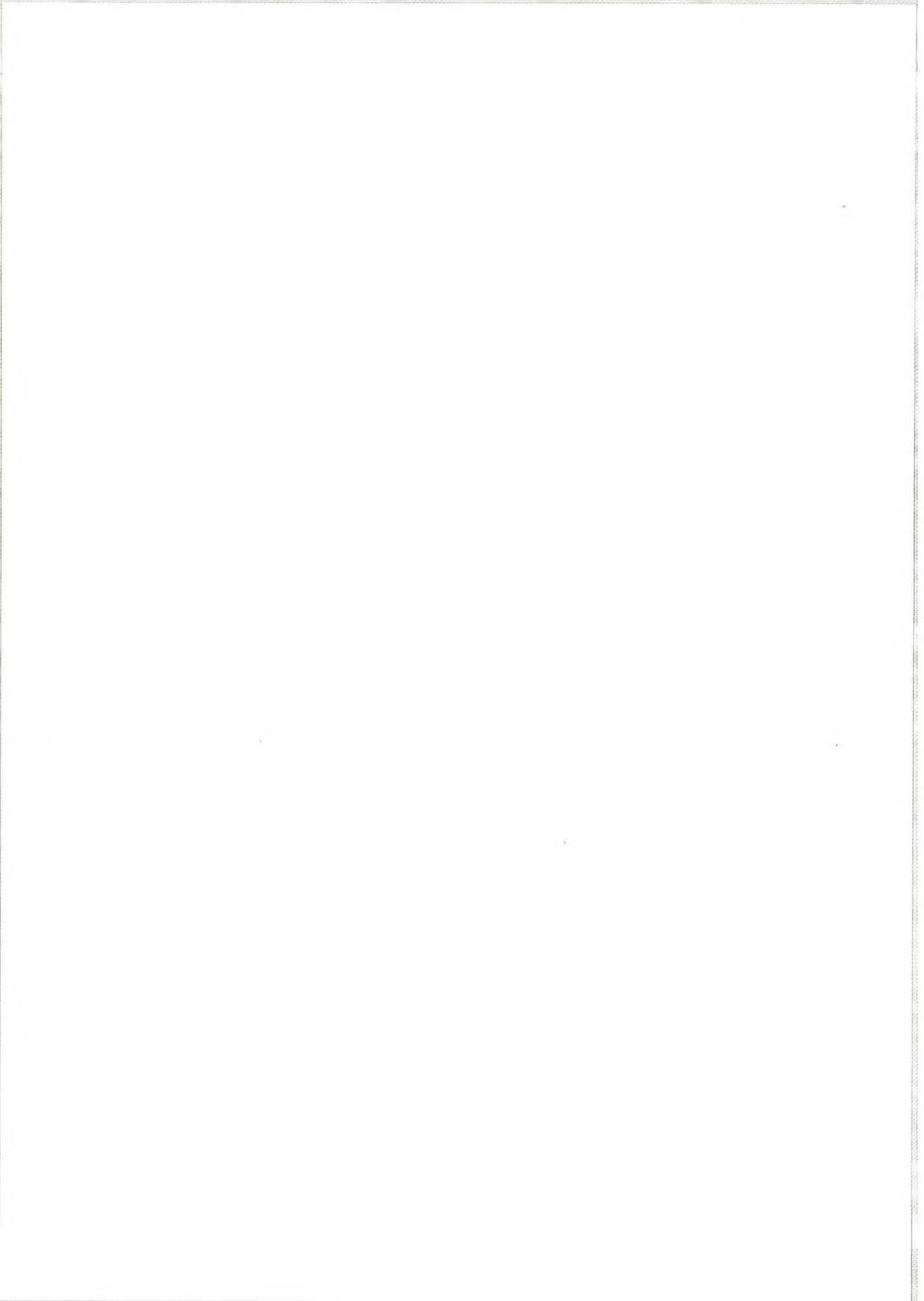
Encontrar soluciones integradas, satisfactorias para todos los intereses, es uno de los mayores retos en la planificación de las carreteras. Para ello es necesario disponer de métodos de planificación de los trazados de las infraestructuras de transporte, que permitan reducir al mínimo los impactos de fragmentación de hábitats teniendo en cuenta las limitaciones técnicas y costes. La evaluación del impacto de las nuevas infraestructuras tiene que centrarse en alcanzar soluciones integradas e intentar encontrar el mejor trazado y diseño, que produzca el menor impacto posible y los mayores beneficios al más amplio número de vectores y actividades afectadas. Dichas soluciones con frecuencia requieren la aplicación combinada de medidas de prevención, corrección y compensación. El proceso de integración es especialmente difícil en zonas geográficas en las que hay mucha competencia por el espacio, como en el caso de valles estrechos y costas. Estas zonas, donde la presión urbanística y de

actividades agrícolas es muy alta, ya presentan actualmente un alto grado de fragmentación, generando franjas lineales que han quedado separadas por la construcción de carreteras y vías férreas con efectos negativos para la conservación de los hábitats y del paisaje.

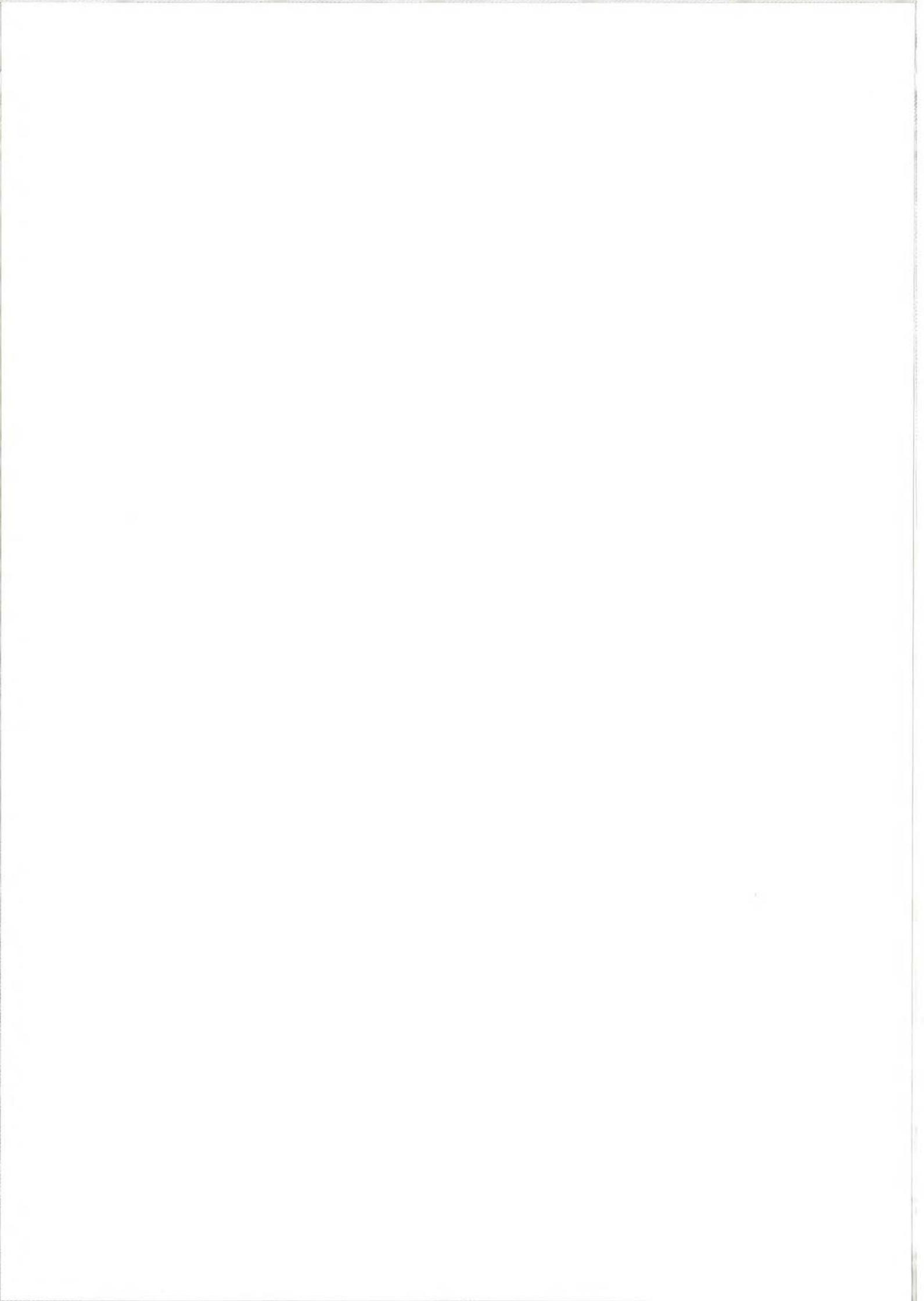
Durante la planificación de las infraestructuras las soluciones integradas se pueden tener en cuenta a diferentes escalas, tanto paisajísticas como regionales. Las escalas a las que se tienen que tener en cuenta estas medidas de mitigación son:

- Escala regional. Donde se plantean los posibles trazados en relación con la topografía, geología, tipo de terreno y drenaje, así como las infraestructuras y asentamientos urbanos existentes. El impacto del conjunto de la red de infraestructuras de transporte, así como de cada uno de los proyectos de manera individual, deben ser considerados.
- Escala de paisaje. Donde se plantean los trazados de cada uno de los tramos para prevenir conflictos. Se deben tener en cuenta los usos del suelo, el paisaje, la conservación de la fauna y flora, así como otros aspectos como los culturales, recreativos, etc. La estructura del paisaje y la superficie y patrón espacial de distribución de los hábitats existentes determinará el impacto de la construcción de la infraestructura.
- Escala local. Donde se diseñan las soluciones técnicas específicas para cumplir los requisitos necesarios para integrar la carretera en el contexto local de forma que se reduzcan al mínimo los posibles impactos. Las limitaciones físicas y de ingeniería establecen los parámetros del diseño de las medidas en esta escala de detalle.

En los capítulos siguientes se especifican los métodos que se pueden utilizar para reducir al mínimo los impactos de la fragmentación del hábitat provocados por las infraestructuras de transporte.



5 Herramientas de planificación



5.1 Planificación para evitar y reducir la fragmentación

La fragmentación del hábitat se debe reducir al mínimo cuando se planifiquen las nuevas infraestructuras, o se mejoren las ya existentes. La realización de Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAE) de planes y programas y las Evaluaciones del Impacto Ambiental (EIA) de los proyectos, deberían garantizar que se tengan en cuenta los aspectos ambientales durante la fase inicial de planificación. Las EAE y EIA se deben realizar según las directrices de la UE y la aplicación de ellas en cada país, además de la propia legislación ambiental de estos (véase apartados 5.2 y 5.3).

El objetivo general de las EAE y EIA es identificar los posibles impactos ambientales de los planes y proyectos antes de adoptar una decisión sobre su implementación. Otro de los objetivos es asegurar la participación pública en el proyecto. Antes de adoptar un plan o un proyecto y antes de que se inicie su construcción, todas las EAE y EIA se someten a exposición pública. Durante esta fase, las autoridades pertinentes, partes interesadas, ONGs y público en general pueden hacer comentarios sobre los planes, e influir en el proyecto antes de adoptar una decisión final sobre su implementación (Figura 5.1).

Dado que es inevitable un cierto grado de fragmentación cuando se construye una carretera o ferrocarril, se deberán tener en cuenta medidas de mitigación para asegurar la permeabilidad de las infraestructuras en los corredores de dispersión y zonas con hábitats de interés natural o designados como prioritarios en aplicación de la Directiva 42/93/CEE. En casos en los que infraestructuras de extrema importancia, declaradas de interés general, deban cruzar inevitablemente zonas vulnerables en las que la aplicación de medidas de mitigación no sea viable o no consigan reducir significativamente el efecto de fragmentación, será necesario introducir medidas compensatorias (Capítulo 8).

En lo que se refiere a la fragmentación causada por las infraestructuras existentes, los problemas son diferentes. En gran parte de las infraestructuras, puede que no se hayan tenido en cuenta las medidas de mitigación durante la fase de planificación y diseño. En estos casos, la zona puede haberse visto afectada por problemas de fragmentación como resultado de las infraestructuras existentes, o por otros agentes generadores de fragmentación (áreas urbanizadas, zonas agrícolas, etc.) que no se pudieron prever en el momento del estudio, o que surgieron después. Por ello, cuando se realizan mejoras de los trazados ya existentes, es fundamental realizar nuevas evaluaciones en las zonas donde se ha producido fragmentación, ya que es posible aplicar medidas de defragmentación de hábitats (véase apartado 5.5).

5.2 Actuaciones en la fase de planificación estratégica (EAE)

Todos los nuevos planes y programas en los países de la Unión Europea tienen que someterse a un proceso de EAE en aplicación de la Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 27 de junio de 2001. La fecha límite para su transposición a la legislación nacional es el 21 de julio de 2004. Con la realización de la EAE se garantiza que se tienen en cuenta los temas ambientales cuando se elaboran las políticas de planificación a gran escala. El trabajo de EAE debe incluir una descripción general del plan o programa, sus principales objetivos y su relación con otros planes y programas que puedan tener influencia. En el proceso de EAE se incorpora la evaluación ambiental en el momento de tomar decisiones, antes de realizar la EIA del proyecto.

5.3 Actuaciones en la fase de proyecto (EIA)

Todos los proyectos de infraestructuras lineales, deben someterse a una EIA, según la Directiva del Consejo de la UE (97/11/EC de 3 de marzo de 1997). Para más información sobre la regulación del proceso de EIA en el Estado español, se puede consultar el documento sobre la fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España, elaborado en el marco de la Acción COST 341 (véase anexo 5, Capítulo 10).

Una EIA se refiere a un proyecto específico. El proceso garantiza la evaluación detallada de los efectos ambientales de una amplia gama de soluciones alternativas, dependiendo de cada uno de los puntos evaluados en el proceso de EAE, que puede variar según los países. El proceso descrito en el apartado 4.1, es la base para tener en cuenta distintas alternativas. Una vez concluida la evaluación se determina cual es la alternativa que causa un menor impacto ambiental y se recomiendan medidas para reducir al mínimo sus impactos ambientales negativos.

También debería evaluarse, aunque con frecuencia se obvia, la *alternativa cero*, consistente en no ejecutar el proyecto. Es fundamental describir esta opción para poderla utilizar como referencia del estado inicial del medio.

La EIA se utiliza como documento básico durante toda la fase de diseño y planificación del proyecto y también como herramienta de referencia común y de comunicación, entre todos los agentes implicados.

5.3.1 Ámbito de la EIA

En el proceso de EIA se evalúan todos los vectores ambientales tales como el aire, suelo, aguas superficiales y subterráneas, ruido, etc. y se tiene en cuenta el impacto físico y químico en los ecosistemas, la flora y la fauna, así como los efectos en los hábitats y el paisaje y en su valor recreativo y cultural. La EIA también estudia los puntos que tienen en común estos factores, así como los efectos acumulados o sinérgicos, de cada uno de los proyectos y construcciones por separado.

Una EIA debe incluir como mínimo:

- Una descripción del proyecto, con información sobre su situación, las características del trazado y de su entorno, considerando distintas escalas.
- Una descripción de las principales alternativas investigadas por el promotor, o propuestas por el público en general (incluida la opción *alternativa cero*, consistente en no ejecutar el proyecto) indicando cual es la opción seleccionada y las razones de esa elección, teniendo en cuenta los efectos en el medio ambiente.
- Una descripción de las medidas propuestas para prevenir o reducir los impactos que tienen efectos adversos para el medio ambiente.
- Un resumen de la evaluación destinada a hacer comprensible la información para el público en general, de manera que se facilite la participación pública en el proceso de evaluación del proyecto.

5.3.2 Identificación de zonas sensibles durante el proceso de la EIA

Para identificar los lugares en los que es necesario adoptar medidas de prevención, corrección o compensación, se utilizan los siguientes parámetros:

- Zonas de especial interés de conservación (Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), integrados en la Red Natura 2000, hábitats designados como prioritarios según la Directiva 92/43/CEE, Zonas de Especial Interés para las Aves (ZEPA) designados en aplicación de la Directiva 79/409/CEE, etc.
- Hábitats de especies incluidas en las listas rojas de la UICN o en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (CNEA).
- Zonas que albergan comunidades de plantas y tipos de vegetación que figuran en el CNEA o designados como prioritarios en aplicación de la Directiva 92/43/CEE
- Valles, cursos fluviales y humedales.
- Territorios poco alterados, de alto valor ecológico.

- Espacios que integran las redes ecológicas, incluidos los corredores que facilitan la dispersión de especies en zonas que están ya fragmentadas.

Además de estos factores, los requerimientos técnicos y la seguridad del tráfico desempeñan un papel importante a la hora de definir las medidas de prevención y corrección de impactos.

Con frecuencia la EIA se realiza de forma paralela al diseño del proyecto, en un proceso iterativo en el que participan ingenieros de caminos, técnicos ambientales y expertos en paisaje. Las organizaciones conservacionistas y el público en general pueden aportar, entre otros aspectos, conocimientos sobre la distribución de las especies y hábitats más importantes.

Para información complementaria sobre medidas a aplicar durante las fases de proyecto y construcción, véase Capítulos 6 y 7.

5.4 Evaluación del impacto de fragmentación de la nueva infraestructura en la EIA

El estudio de evaluación debe ser analítico e incluir datos empíricos suficientes, y en su elaboración es importante que participen expertos en ecología y especialmente en biología de la conservación, así como especialistas en análisis de paisaje.

Básicamente, la EIA se compone de las siguientes fases:

- Definición del área de estudio.
- Fase de inventario y descripción del estado del medio: cartografía, estudios de campo y evaluación de las características del medio antes de la ejecución del proyecto.
- Evaluación de impactos, de los posibles conflictos y del riesgo de fragmentación de hábitats.
- Valoración conjunta de la información entre ingenieros responsables del proyecto, técnicos ambientales y paisajistas.
- Redefinición del trazado e investigaciones complementarias.
- Selección de las alternativas que se tienen que tener en cuenta en el proceso de EIA.
- Planificación de las medidas de mitigación y compensatorias.

En la práctica, la EIA debería ser un proceso iterativo, que se describe con más detalle en la figura 5.1.

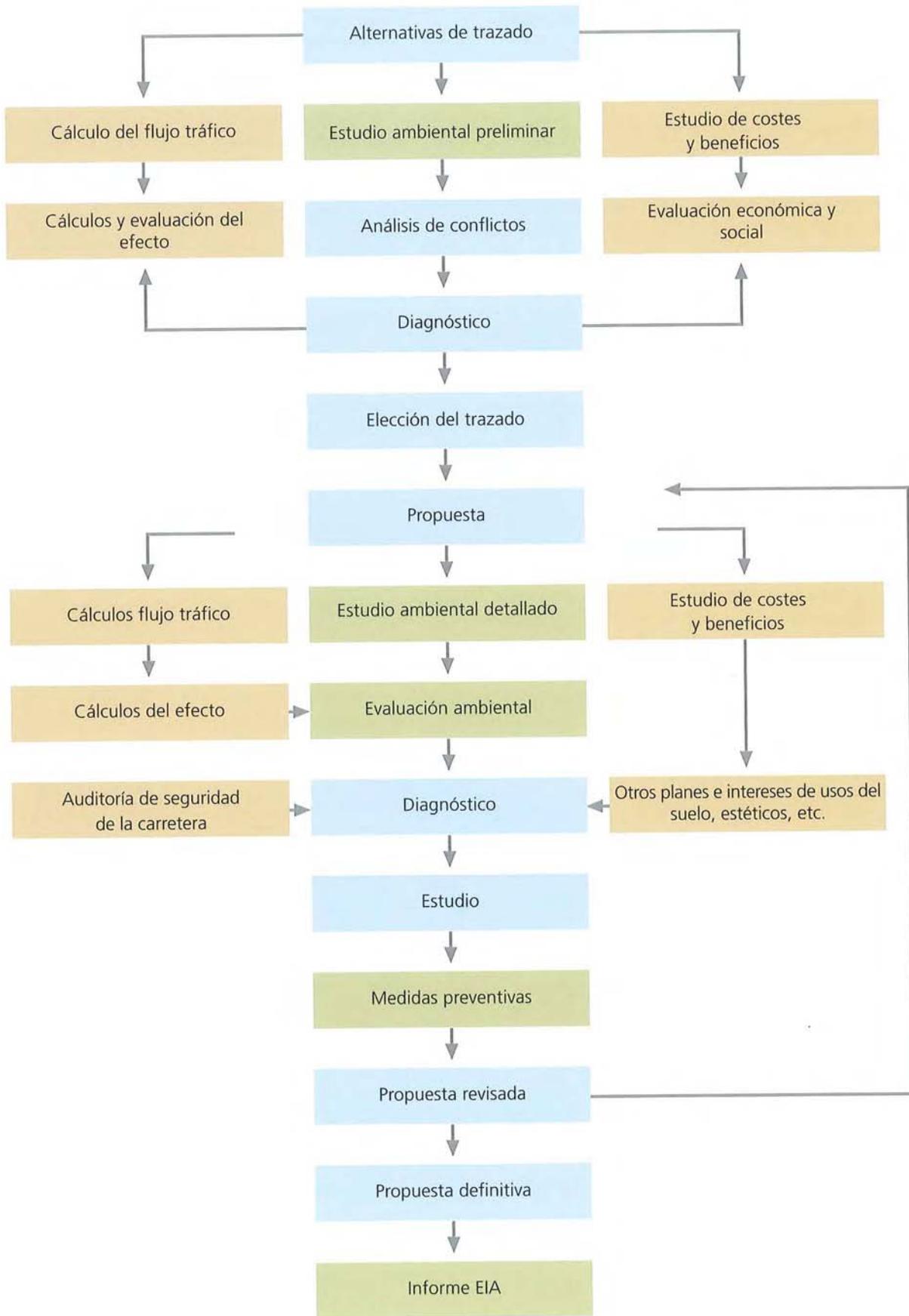


Figura 5.1 - Proceso de valoración del impacto ambiental.

5.4.1 Definición del área de estudio

La definición clara del área de estudio es crucial para poder analizar los aspectos relacionados con la fragmentación. En general, el área de estudio debe ser más amplia que el corredor en el que está localizado el proyecto (Figura 5.2) y debe incluir el análisis de las estructuras de paisaje, la evaluación de la fragmentación existente y de los elementos que la causan. Al definir el área de estudio hay que tener en cuenta diferentes escalas:

- Nacional. Identificación de las rutas de migraciones de largo recorrido, sectores que conectan poblaciones aisladas (incluso cuando las especies que son objeto del estudio no viven de forma permanente en la zona) y *cuellos de botella*, en los que las conexiones presentan un alto riesgo de ser interceptadas. Una escala de 1:250.000 puede ser adecuada.
- Regional. Centrada en el impacto de la infraestructura sobre el paisaje en el que se inserta el trazado, análisis de otras barreras que afectan a la zona y de los espacios clave para la conectividad ecológica. Un objetivo importante es describir la frecuencia y ubicación de las medidas de mitigación que serán necesarias para permeabilizar el trazado en las áreas más sensibles. Una escala de 1:50.000 puede ser adecuada.

- Local. Estudios detallados del área que incluyan distribución de poblaciones de las especies de fauna más sensibles a la fragmentación de sus hábitats y sus rutas de desplazamiento habituales. Además de la información obtenida por los especialistas, se pueden obtener datos complementarios, por ejemplo sobre rutas de paso de fauna, a partir de informaciones de cazadores, habitantes de las zonas afectadas, etc. Un objetivo importante es describir las características técnicas y la ubicación de las medidas de mitigación. Una escala de 1:5.000 puede ser la adecuada.

El tamaño del área de estudio varía según la densidad de las áreas urbanizadas y de la red de infraestructuras. Normalmente cuanto menos poblada esté la zona, mayor será el área de estudio. Se pueden utilizar varias escalas cartográficas: para analizar la fragmentación es necesaria una visión general del área (p.ej. 1:250.000 o 1:100.000); las escalas menores permiten localizar las zonas más críticas en las que deben ubicarse medidas de permeabilización (mapas y fotos aéreas de 1:25.000 o incluso 1:10.000) y finalmente, para definir con concreción las medidas de mitigación de impactos son necesarias escalas de detalle 1:5.000 o inferiores.

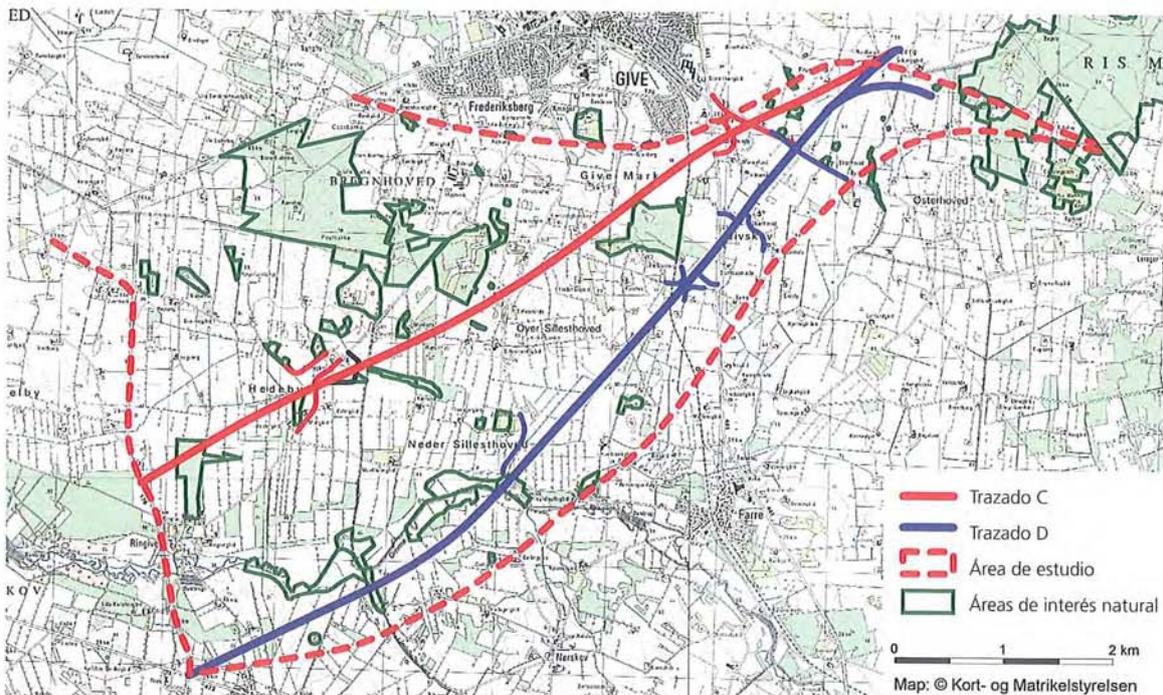


Figura 5.2 – La definición del área de estudio puede variar desde corredores estrechos hasta amplias regiones en función del paisaje de las especies afectadas. La figura muestra un ejemplo de un área de estudio ampliada para incluir varias zonas importantes para la conservación de la naturaleza. (Dirección General de Carreteras de Dinamarca 2001: VVM Brande-Riis)

5.4.2 Fase de inventario y cartografía

Esta fase supone un estudio de los documentos de planificación (planes de infraestructuras, de protección de espacios naturales, etc.), del estudio informativo y del proyecto de trazado. Además, se llevan a cabo los trabajos de campo y cartográficos.

Los contenidos básicos que deben plasmarse en la cartografía son los siguientes:

- Marco legislativo y reglamentario: cartografía de los espacios naturales protegidos (ENP), los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y otras zonas de especial interés para la flora o fauna (incluidos los corredores ecológicos). Planes de recuperación o manejo de especies y otros instrumentos de planificación que afecten el área.
- Análisis del paisaje, incluyendo la distribución de los distintos usos del suelo y tipos de hábitat, su grado de fragmentación, y la identificación de paisajes designados para su conservación, además

de los lugares de interés para la fauna (por ejemplo, zonas de reproducción, alimentación o invernada).

- Distribución de especies más vulnerables a los efectos de fragmentación de hábitats: animales y plantas que figuran en el CNEA y, en especial, de las especies que requieren extensas superficies de hábitat (por ejemplo, los ungulados o los grandes carnívoros) o que presentan movimientos estacionales que pueden verse interceptados por las infraestructuras de transporte (caso de los anfibios).

Todos los niveles de información espacial sobre factores ambientales y la red de infraestructuras se deben cartografiar, preferentemente utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permitirá el análisis conjunto de distintas capas de información. La cartografía debe presentar claramente los puntos de conflicto entre la infraestructura que se evalúa y las áreas de mayor sensibilidad, y también los puntos en los que se interceptan conectores ecológicos claves para la dispersión de especies (Figura 5.3 y 5.4).

5

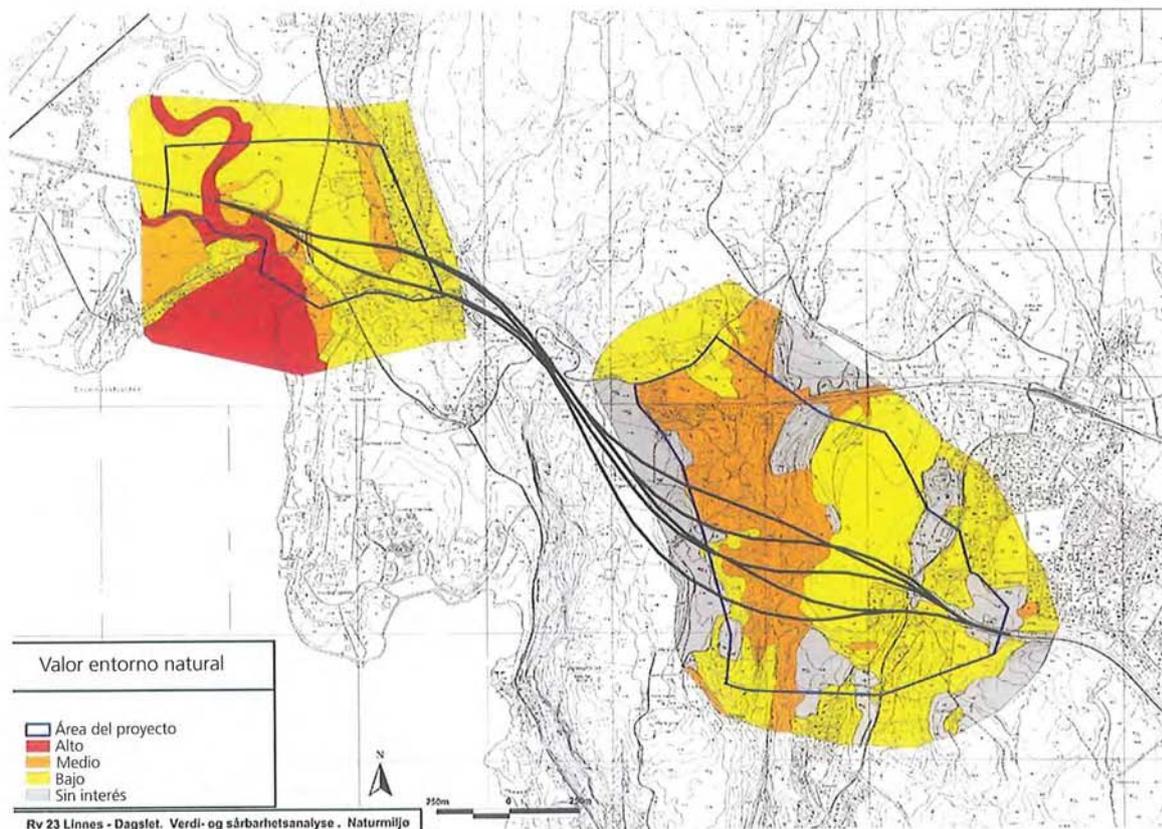


Figura 5.3 – La escala de la cartografía es crucial. Se pueden utilizar diferentes escalas de forma paralela para diferentes propósitos. Los mapas deben ser lo suficientemente detallados e incluir toda la información pertinente. La figura muestra un mapa que presenta la valoración del interés natural de dos sectores afectados por el trazado de una autopista. (Análisis del valor ambiental Autopista 23 Línnes-Dagslet, Dirección General de Carreteras Públicas de Noruega, 2001)

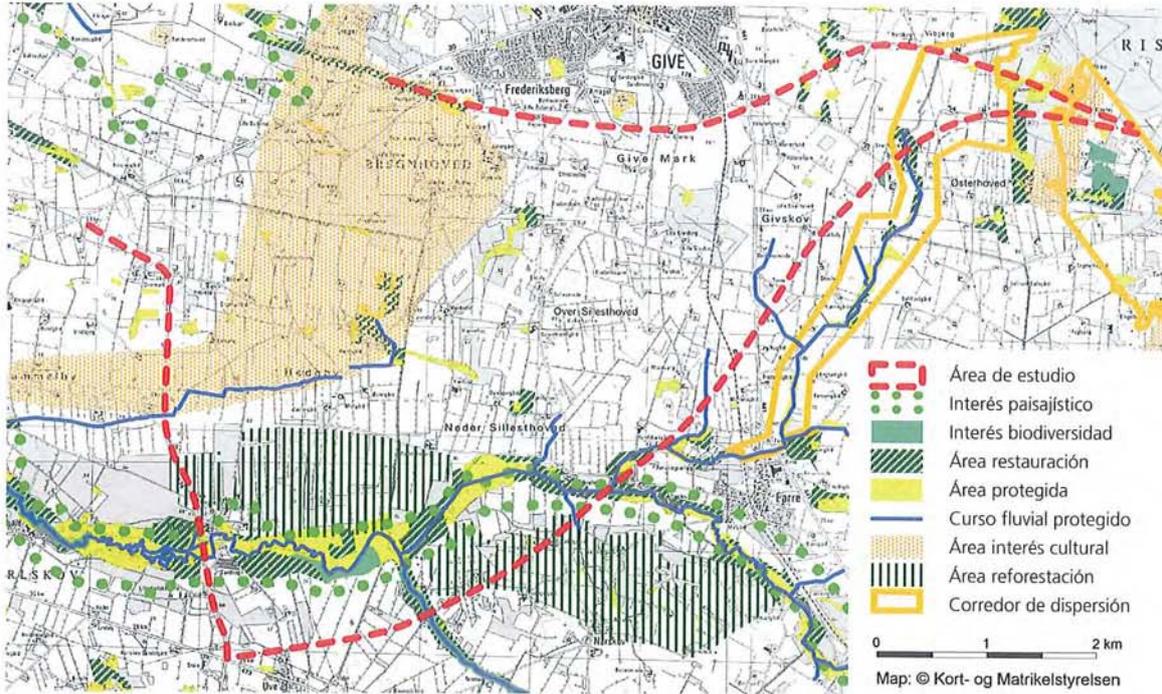


Figura 5.4 – Ejemplo de cartografía de áreas de especial interés. Los datos más relevantes deben presentarse de manera que puedan dar soporte al proceso iterativo de planificación y evaluación del impacto ambiental. El uso de distintas capas de información, signos y símbolos sirven para mejorar la comunicación entre las partes interesadas. (Dirección General de Carreteras de Dinamarca: VVM Brande-Riis)

5.4.3 Proceso de evaluación

Se evalúa el patrimonio natural del área de estudio para identificar los aspectos de importancia ecológica y las áreas de mayor interés para la conservación de la diversidad biológica. Entre los factores a analizar destacan los siguientes (Figuras 5.3 y 5.4):

- Los tipos de hábitats, sus características y requerimientos.
- El tamaño y grado de fragmentación de los hábitats.
- El grado de perturbación que afecta a los hábitats.
- La singularidad de los hábitats y su estado de conservación.
- La presencia de áreas designadas como ENP, LIC y/o ZEPa.
- Los elementos paisajísticos relevantes.
- La riqueza y diversidad de especies.
- La presencia de especies incluidas en listas rojas, catalogadas o incluidas en los anexos de las Directivas 92/43/CEE (Hábitats) y 79/409/CEE (Aves).
- Poblaciones de especies cinegéticas y especies emblemáticas (es decir, especies con un fuerte componente cultural o emocional).
- La importancia y potencial para un uso recreativo de las zonas naturales y las molestias que ello podría comportar a la fauna silvestre.

La cartografía de evaluación ambiental presenta las alternativas del trazado, especificando su impacto y la sensibilidad del área. Los mapas deben mostrar:

- La distribución y tamaño de los hábitats, destacando los fragmentos de hábitats.
- La distribución (y densidad aproximada) de las poblaciones de fauna silvestre más sensibles a la fragmentación, y especialmente, de las poblaciones pequeñas y aisladas, que son las más vulnerables.
- Localización de corredores de dispersión y migración, incluyendo conectores ecológicos, así como áreas de descanso, que no siempre son hábitats naturales.
- Hábitats que pueden ser objeto de restauración.
- Efecto barrera de la infraestructura en hábitats como lagunas u otros puntos de reproducción de anfibios, claves para la conservación de sus poblaciones.
- Efecto barrera de la infraestructura con respecto a las rutas de desplazamiento habitual de grandes mamíferos (jabalí, cérvidos, etc.) que pueden causar graves problemas de seguridad viaria.

Los mapas son la base para analizar los posibles efectos de un trazado e identificar los puntos de conflicto entre las zonas de interés para la conservación de la biodiversidad y las alternativas planteadas.

La evaluación debe poner de relieve los impactos sobre los elementos de mayor interés para la conectividad, tales como las estructuras lineales que conectan distintos fragmentos del hábitat, destacando especialmente la presencia de ríos, arroyos, bosques ribereños, corredores forestales, y otras estructuras de menor escala, pero igualmente importantes, como los hábitats constituidos por hileras de setos en márgenes de cultivos, que en zonas intensamente urbanizadas o transformadas por la agricultura, pueden ser el último refugio de muchas especies. La permeabilización del trazado en todos los puntos en los que se intercepten elementos de interés para la conectividad es un aspecto fundamental de la evaluación, que debe identificar también, las posibles medidas (ecoductos, pasos de fauna, drenajes adaptados, etc.) para permitir el paso de la fauna a través del trazado. La densidad de las medidas correctoras se debe basar en los estudios de detalle que analicen la vulnerabilidad de cada tipo de hábitat y especies afectadas (para más detalles véase apartado 7.1).

5.4.4 Proceso iterativo de selección del trazado de un proyecto

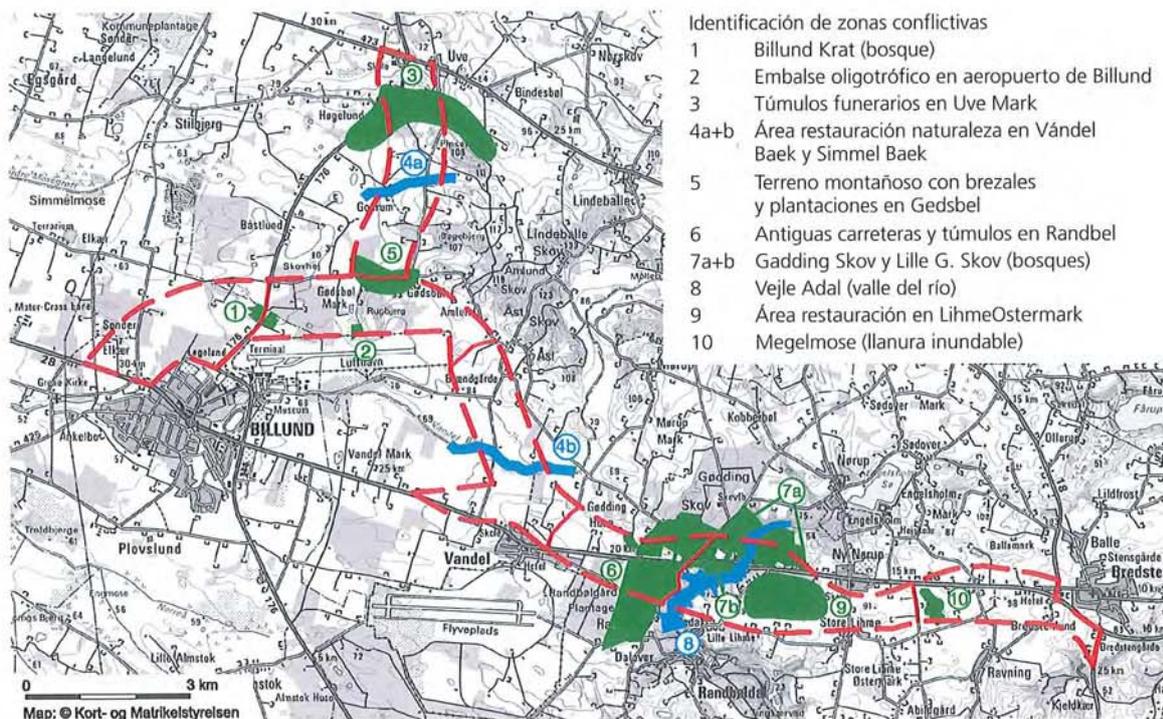
La selección del trazado se desarrollará de manera ideal si los ingenieros de caminos, planificadores, arquitectos, ecólogos y especialistas en patrimonio cultural analizan conjuntamente, y desde sus distintas perspectivas, la información detallada sobre las alternativas del trazado y diseño del proyecto.

El proceso multidisciplinar puede generar cambios en el trazado que consigan reducir de manera muy significativa su impacto ambiental, y también contribuye a mejorar notablemente la planificación de las medidas de mitigación e integración ambiental. Los procesos relativos a la ubicación y diseño del proyecto se ilustran como parte del proceso de EIA global en la figura 5.1.

Las conclusiones de los análisis de conflictos durante la fase de evaluación deben exponerse a los promotores y proyectistas de la infraestructura durante la siguiente fase del proceso.

5.4.5 Consideración de las alternativas de trazado

La valoración y la selección de las alternativas del proyecto se deben basar en las siguientes consideraciones y directrices (Figuras 5.6 a 5.8, para una descripción más detallada, véase el Capítulo 6):



Identificación de zonas conflictivas

- 1 Billund Krat (bosque)
- 2 Embalse oligotrófico en aeropuerto de Billund
- 3 Túmulos funerarios en Uve Mark
- 4a+b Área restauración naturaleza en Vandel Baek y Simmel Baek
- 5 Terreno montañoso con brezales y plantaciones en Gedsdal
- 6 Antiguas carreteras y túmulos en Randballe
- 7a+b Gadding Skov y Lille G. Skov (bosques)
- 8 Vejle Adal (valle del río)
- 9 Área restauración en Lihme Ostermark
- 10 Megelmose (llanura inundable)

Figura 5.5 – Ejemplo de cartografía que destaca los puntos conflictivos generados por una alternativa de trazado sobre el paisaje, las actividades recreativas y los aspectos ecológicos del corredor seleccionado. (Dirección General de Carreteras de Dinamarca: VVM Billund omfartsvej)



Figura 5.6 y 5.7 – Visualizaciones informáticas que muestran opciones alternativas para el trazado de un viaducto que cruza el río Gudenaå, en Dinamarca. (Dirección General de Carreteras de Dinamarca: VVM Motorvejen Herning-Århus ved Silkeborg)

- | | | | | | |
|---|-------|----------------------------|---|---|----------------------------|
| 1 | | Área de estudio | 4 | — | Alternativa de trazado II |
| 2 | — | Alternativa de trazado XII | 5 | — | Alternativa de trazado I |
| 3 | — | Alternativa de trazado IV | 6 | — | Alternativa de trazado III |

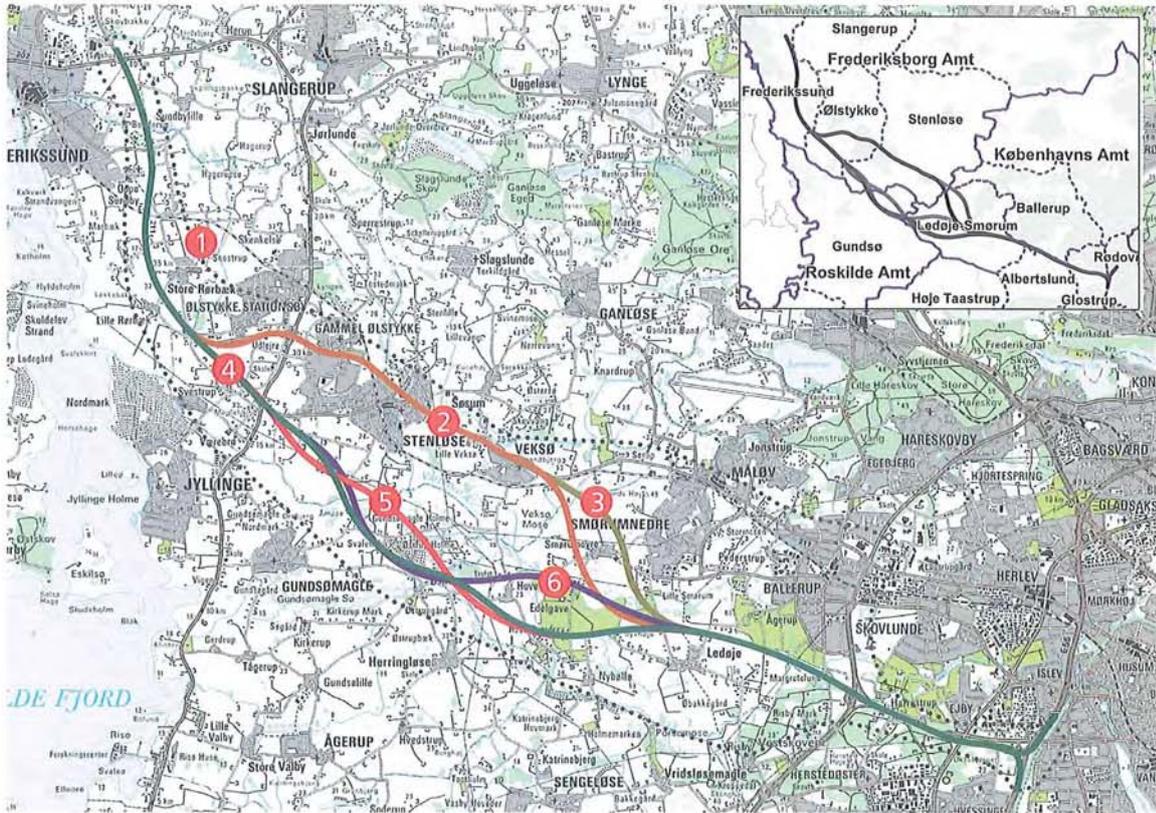


Figura 5.8 – Ejemplo de un mapa que muestra las alternativas de trazado y el área de estudio. (Dirección General de Carreteras de Dinamarca: VVM Frederikssundsmotorvej)

- Evitar la fragmentación sobre todo en áreas de conservación prioritaria y que no estén fragmentadas.
- Mantener la funcionalidad de los corredores de dispersión. Un relieve abrupto puede favorecer el mantenimiento de la conectividad, ya que con frecuencia obliga a la construcción de viaductos y túneles. Es fundamental escoger las opciones que eviten al máximo la afección a elementos del paisaje que favorecen la dispersión de fauna como cursos fluviales y bosques de ribera asociados, bosques fragmentados inmersos en una matriz de paisaje agrícola (también denominados *bosques isla*), hileras de setos o de árboles en los paisajes más humanizados, etc.
- La infraestructura debe ubicarse preferentemente en corredores ya urbanizados (con núcleos urbanos, áreas industriales, equipamientos e infraestructuras) para evitar la fragmentación de los entornos no perturbados y con buen estado de conservación.

- La conservación de elementos significativos del paisaje tales como valles fluviales, humedales, zonas costeras, etc.

Una selección acertada de la mejor alternativa de trazado en la fase de planificación de la infraestructura es fundamental para evitar los impactos de fragmentación de hábitats. Además también tiene una importancia decisiva para reducir los costes de las medidas que posteriormente serán necesarias para corregir o compensar los impactos.

5.4.6 Planificación del programa de seguimiento

Durante la fase de planificación de la infraestructura, y particularmente en el proceso de elección de las medidas para mitigar sus efectos de fragmentación, también se debe prestar especial atención al trabajo posterior de seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas. En el programa de seguimiento se deben establecer con claridad los objetivos de las medidas aplicadas, así como los criterios para la evaluación de su efectividad (véase Capítulo 9).

5.5 Reducción del impacto de las infraestructuras existentes

5.5.1 Bases para la corrección de impactos y resolución de conflictos

Tal como se ha comentado, la construcción de nuevas infraestructuras y la mejora de las existentes requiere tener en cuenta las consecuencias de la fragmentación del hábitat, mediante el proceso de EIA. Por contra, no existe normativa que garantice la aplicación de medidas para mitigar el efecto barrera de las infraestructuras en funcionamiento.

Sin embargo, a través de la Directiva 92/43/CEE (Hábitats), los estados miembros de la UE están obligados a establecer la supervisión de la captura y mortalidad no intencionada de las especies mencionadas en el anexo IVa, y se obliga a que se apliquen medidas para la conservación de estas especies.

Esto incluye las muertes producidas por el tráfico y la Directiva es por tanto aplicable a las carreteras existentes.

5.5.2 Análisis del efecto barrera

El análisis del efecto barrera tiene como objetivo identificar los puntos o tramos en los que las carreteras existentes entran en conflicto con elementos naturales (ríos, vaguadas, bosques, etc.) que integran la red de conectores ecológicos y son vías preferentes de dispersión de fauna, o bien, constituyen hábitats de interés para la fauna a escala local. El objetivo de este tipo de cartografía es señalar donde y cómo mejorar las medidas existentes y dónde es necesario establecer nuevas medidas para reducir el efecto barrera de la carretera.

Utilizando una sencilla metodología es posible conocer el efecto barrera de una infraestructura existente. El método debe incluir:

- La identificación y cartografía de los puntos conflictivos (Figuras 5.9 y 5.10).

Ejemplo: Densidad de colisiones de vehículos con alces y corzos en el sureste de Suecia entre 1995 y 1999

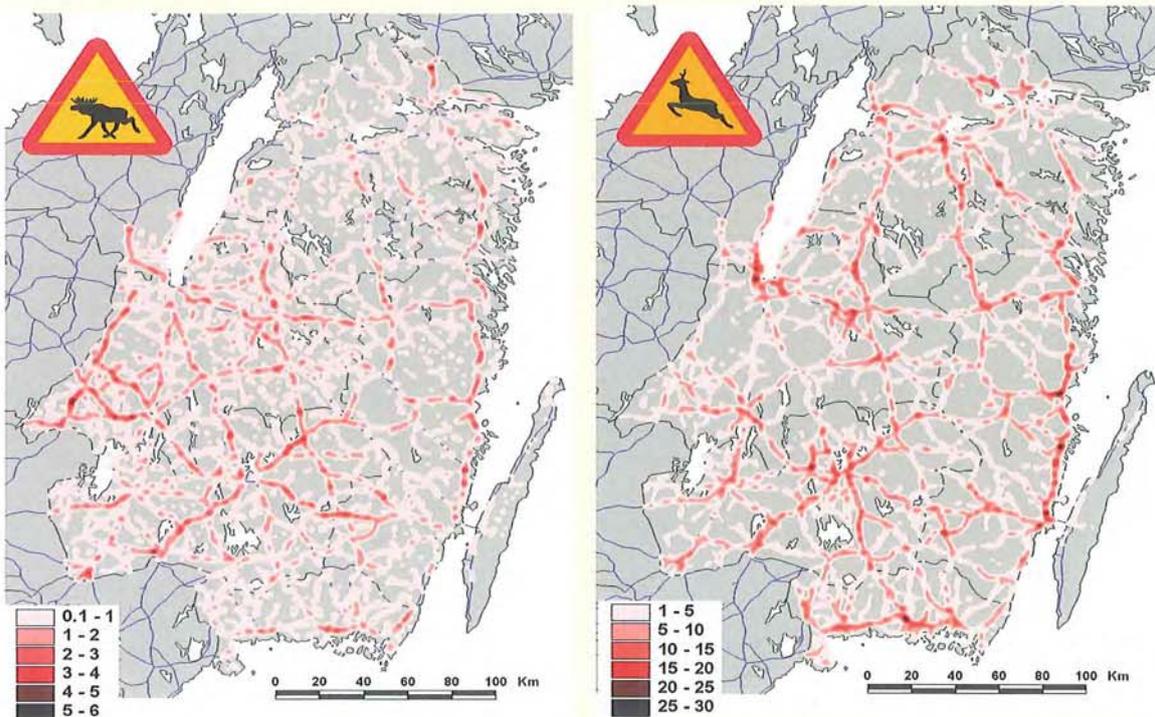


Figura 5.9 – Número de accidentes registrados por la policía entre vehículos y alces (izquierda) y corzos (derecha), durante un período de 5 años, desde 1995 a 1999, en el sureste de la región de la Administración de Carreteras de Suecia. (Andreas Seiler, datos inéditos)

Ejemplo: Identificación de puntos conflictivos en la República Checa

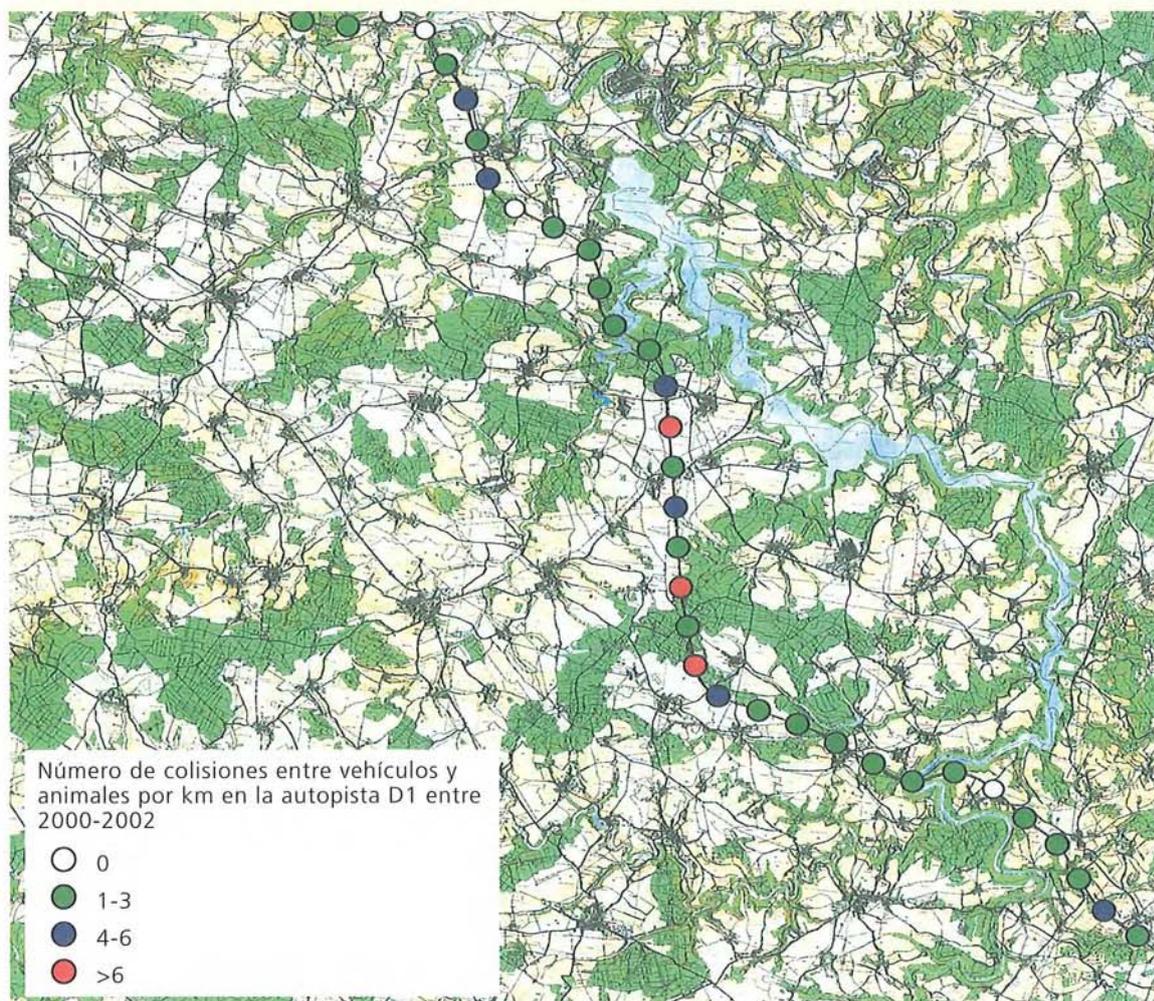


Figura 5.10 – Cartografía de los accidentes de tráfico provocados por animales silvestres en un tramo de 64 km en la autopista D1 en la República Checa, que pone en evidencia los sectores más conflictivos, con mayor frecuencia de colisiones. Durante tres años (2000-2002) 145 animales murieron en esta zona (1 alce, 2 ciervos, 18 osos, 2 zorros y 122 corzos). (Vaclav Hlavác, datos inéditos)

- El estudio y descripción de los puntos conflictivos
- Recomendaciones de las medidas para reducir el efecto barrera en cada punto conflictivo.
- Clasificación de las medidas en función de su prioridad.

Identificación y cartografía de los puntos conflictivos

Los criterios para identificar los puntos conflictivos son los mismos que los mencionados en el apartado 5.4.3, pero además, en las vías en funcionamiento existen

otros métodos que facilitan su detección, concretamente:

- Las zonas con una alta concentración de animales víctimas de atropello o colisión con vehículos (Figuras 5.9 y 5.10).
- El uso, por parte de la fauna silvestre, de los pasos superiores o inferiores a la vía que se diseñaron con otras funciones tales como la restitución de caminos y vías pecuarias, drenajes, etc.

Ejemplo: Identificación y conservación de corredores biológicos

Las EIA normalmente abarcan un área de estudio de tan solo unos cientos de metros alrededor de la infraestructura. Está claro que en muchos casos, este área es insuficiente para valorar adecuadamente la importancia relativa que tiene un lugar determinado para la conexión de los hábitats a gran escala. El estudio de los corredores biológicos realizado en Suiza tuvo como objetivo facilitar una visión general de su situación en los 41.285 km² que tiene el país. Se recogió la información aportada por los expertos y se integró en los modelos basados en el hábitat. De esta forma se pudieron identificar los corredores biológicos y los cuellos de botella definidos por sectores delimitados por zonas intensamente transformadas por las actividades humanas. También se identificaron las medidas necesarias para conservar la conectividad a gran escala de los corredores biológicos.

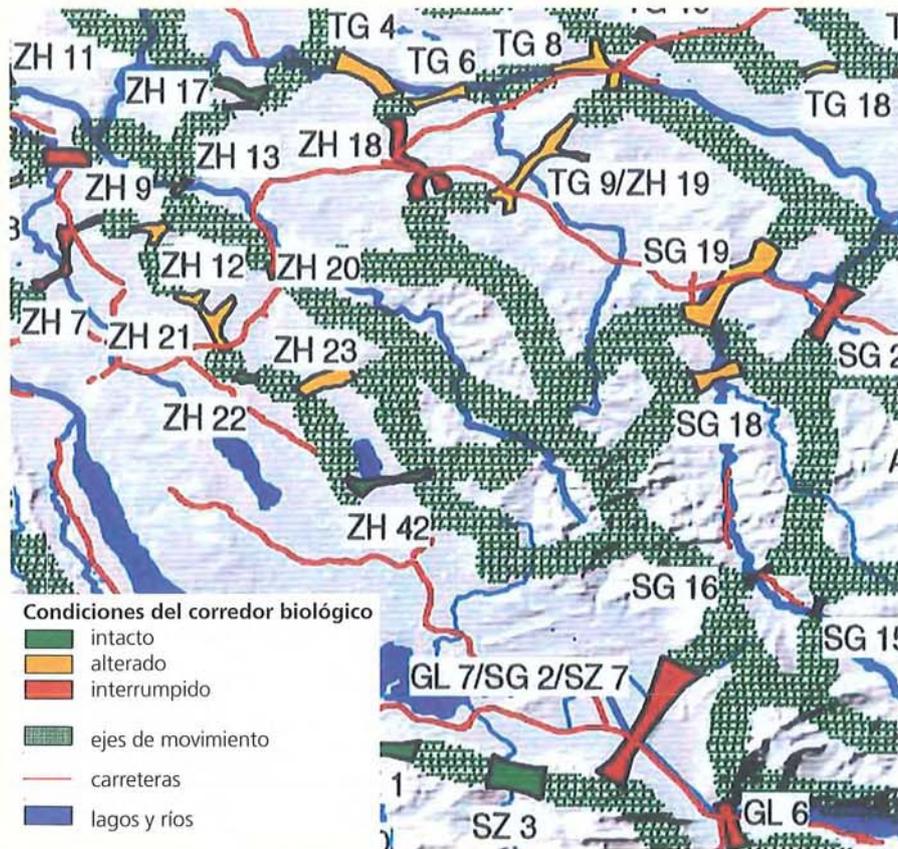


Figura 5.11 – Este extracto del mapa de los ejes de desplazamiento a gran escala en Suiza (tramados en verde) muestra la conectividad y las partes más vulnerables de los corredores, identificando los tramos en los que se han interrumpido u obstaculizado las conexiones. El estado de cada corredor biológico se clasifica como intacto, alterado o interrumpido. En los dos últimos casos ya se han iniciado los trabajos para su restauración, por ejemplo, construyendo pasos superiores para la fauna en las autopistas existentes. (Holzgang y col., 2001)

Estudio y descripción de los puntos conflictivos

Una vez cartografiados los puntos conflictivos, se debe realizar una descripción detallada de cada uno de ellos, incluyendo los elementos de paisaje que se interceptan, sus características, posición, tipo y función en el marco de las redes de conectores ecológicos (Figuras 5.11). Se debe especificar el estado de las estructuras transversales próximas a los puntos conflictivos, así como de los vallados, intersecciones, taludes y

vegetación existentes. También se debe llevar a cabo una evaluación visual de la zona, para optimizar el diseño a la situación específica y satisfacer los objetivos funcionales y estéticos.

Descripción y priorización de las medidas recomendadas

Una vez realizado el trabajo de evaluación, es necesario identificar los puntos o tramos en los que hay que intervenir para reducir el efecto barrera. Normalmente

se recomienda modificar las estructuras transversales existentes (viaductos, pasos superiores o inferiores, drenajes, etc), mejorar las plantaciones en sus accesos, aplicar vallados que fuercen a los animales a dirigirse hacia las estructuras que permiten su paso, cambiar las prácticas de mantenimiento e, incluso, se puede requerir la construcción de nuevos pasos específicos para la fauna.

Crear pasos a través de las barreras existentes es mucho más costoso que crearlos cuando se están construyendo las nuevas carreteras o vías férreas. No obstante, muchos puntos conflictivos pueden resolverse adaptando adecuadamente las estructuras ya existentes.

El planteamiento de las medidas a aplicar debe incluir:

- Una descripción de los criterios utilizados para identificar el punto de conflicto.
- Una descripción de los objetivos de cada una de las medidas de permeabilización de la vía, indicando a qué especies van destinadas.
- Una descripción de las prescripciones técnicas de las medidas correctoras propuestas (tipología de los pasos, dimensiones y materiales).
- Soluciones alternativas.
- Estimación de costes.

Para más información sobre el diseño y construcción de medidas véase Capítulo 7.

Es difícil ofrecer directrices generales para establecer las tareas prioritarias, ya que la planificación regional y las condiciones ecológicas varían entre los distintos países. No obstante, puede afirmarse que a largo plazo lo prioritario es asegurar la integridad global de la red de conectores ecológicos. En algunos casos, puede que sea necesario conservar el hábitat local para una determinada especie, mientras que en otros, puede que sea imposible mejorar las condiciones, debido por ejemplo a la posición de la carretera en el terreno. Además, en la mayor parte de los puntos conflictivos será conveniente dar prioridad a las pequeñas mejoras de los pasos existentes o a cambios en las prácticas de mantenimiento, antes de abordar la construcción de nuevos pasos.

Por tanto, las directrices básicas para la aplicación de actuaciones de reducción de impactos en vías existentes deben:

- Dar prioridad a las actuaciones en zonas que satisfacen varios criterios para ser declarados puntos conflictivos (por ejemplo, tramos en los que se producen un alto número de atropellos de especies amenazadas y que cruzan espacios designados como Lugares de Importancia Comunitaria).

- Sopesar las ventajas a largo plazo de las medidas de mitigación en función de los costes.

5.5.3 Reducción del tráfico

La disminución de la intensidad de tráfico o de la velocidad de circulación de los vehículos, mediante reducción de las dimensiones de las infraestructuras, colocación de bandas rugosas, rampas alzadas, etc. puede ser, en algunos casos, la única solución para reducir los impactos de los atropellos o colisiones con vehículos. Aunque estas medidas acostumbran a ser impopulares, ya que los usuarios demandan vías confortables, en las que se pueda circular a gran velocidad, es una medida que debe ser tomada en consideración en casos extremos, por ejemplo, cuando se afectan especies amenazadas de extinción; es el caso de las carreteras que cruzan áreas clave para el lince ibérico, y que constituyen puntos negros de mortalidad para los jóvenes de esta especie que se encuentran en período de dispersión. En determinadas situaciones incluso puede ser necesario cerrar temporalmente una determinada carretera, por ejemplo para evitar la muerte de los anfibios durante los períodos de migración reproductora. En el apartado 7.5.1. se especifican algunas de las medidas para reducir el tráfico.

5.5.4 Clausura de infraestructuras

Cuando se esté construyendo una nueva infraestructura es importante analizar si será posible clausurar otras antiguas vías que dejan de ser necesarias, y también es recomendable en los acondicionamientos de vías existentes, eliminar los tramos de calzadas que quedan en desuso y proceder a su restauración. Las posibilidades de reducir el efecto barrera estrechando o eliminando antiguas carreteras o vías férreas, deben ser consideradas en función de la necesidad o utilidad que puedan seguir teniendo.

En algunos casos, se han eliminado vías férreas parcial o totalmente y ahora sirven como corredores verdes que permiten cruzar zonas agrícolas o urbanas muy transformadas. En otros casos, las antiguas vías de ferrocarril se utilizan para fines recreativos (véase apartado 7.5.2).

5.6 Mejora de carreteras y ferrocarriles

La mejora de las infraestructuras aumenta con frecuencia su efecto barrera. Si la vía existente no se ha construido medidas de mitigación, los trabajos de mejora brindan una excelente oportunidad para incorporar nuevas medidas. La construcción de pasos en las barreras existentes es generalmente mucho más costosa que en nuevas infraestructuras.

Puede que los estudios ambientales que se hicieron cuando se construyó la carretera estén desfasados y se plantee la necesidad de una nueva evaluación. La fragmentación que ha producido la infraestructura puede haber afectado ya la zona y también es posible que hayan aparecido otras fuentes de fragmentación imprevistas en el momento en que se realizó el estudio. En muchas regiones, la mejora de la infraestructura existente requiere obligatoriamente de la elaboración de una EIA similar al proceso descrito en los apartados 5.3.1 - 5.3.4.

Como ya se ha comentado antes, esto posibilita:

- Analizar y establecer prioridades, superponiendo la infraestructura que se desea acondicionar en mapas de características del medio y de la fragmentación existente.
- Identificar las zonas en conflicto entre el trazado y los elementos naturales de interés para la conservación de la diversidad biológica.
- Valorar los posibles efectos del trazado. La sensibilidad de los hábitats con respecto a la fragmentación, la movilidad de los animales, su distribución y su vulnerabilidad frente a las molestias causadas por las vías de transporte, son todos factores que hay que tener en cuenta.
- Identificar los efectos del aumento de intensidad de tráfico y de velocidad de circulación que resultarán de la mejora de la carretera. Cabe destacar que este es uno de los factores que causa mayores impactos en la fauna, ya que con posterioridad al acondicionamiento de una vía pueden aparecer puntos negros no existentes con anterioridad, en los que se atropellan especies amenazadas o se producen colisiones con grandes mamíferos que comprometen la seguridad del tráfico.

El objetivo final de este análisis es describir las posibilidades para limitar la fragmentación causada por la ampliación de la infraestructura o tener en cuenta otras alternativas, considerando los siguientes factores:

- Es posible que las carreteras antiguas con muchas curvas sean difíciles de ensanchar para adaptarlas a los estándares actuales de calidad y seguridad vial.
- Las barreras más anchas son más difíciles de cruzar con pasos inferiores, que suelen ser más largos, con menores índices de apertura y requieren un mayor trabajo de construcción.
- En algunos casos, la construcción de nuevas infraestructuras adaptadas al paisaje y que incluyan pasos de fauna y ecoductos, puede ser más beneficiosa y viable que intentar mitigar las barreras

de las infraestructuras ya construidas, que se diseñaron sin tener en cuenta el paisaje o los hábitats. En estos casos, que pueden ser contemplados como actuaciones de defragmentación, es importante que la vía antigua sea clausurada y que se proceda a la restauración de los hábitats afectados.

5.7 Costes y beneficios

La planificación de nuevas infraestructuras o mejora de las existentes, supone considerar el coste económico, los efectos y las ventajas de las inversiones. Aunque los efectos ambientales son difíciles de valorar estableciendo solo factores económicos, con este fin se utilizan los principios que rigen el análisis de costes y beneficios. Estos métodos se basan en cálculos económicos y se deben complementar con una descripción de los beneficios tanto económicos como de otro tipo para poder disponer de un análisis completo de las inversiones y sus consecuencias.

Los cálculos y descripciones del coste y los beneficios pueden variar de región a región y se deben basar en factores locales.

Las consideraciones económicas se describen con mayor detalle en el informe europeo de la Acción COST 341 (véase anexo 5, Capítulo 10) en su apartado 8.2.

5.7.1 Descripción de los costes

Durante el proceso de planificación, se tienen en cuenta al mismo tiempo todos los parámetros que influyen en la construcción de una infraestructura, y la solución propuesta es a menudo el resultado de varios factores funcionales, económicos y ambientales. Es muy difícil aislar los costes relacionados con los aspectos de fragmentación. Un planteamiento integrado y un proceso de planificación iterativo servirá para desarrollar soluciones eficaces con bajos costes y altos beneficios. Con frecuencia, la elección de las soluciones impuestas por la topografía pueden reducir significativamente los costes de las medidas de mitigación.

La descripción de los costes relacionados con la fragmentación deben incluir:

- Los costes derivados de la prevención de la fragmentación, eligiendo trazados más largos y costosos.
- Los costes derivados de las medidas de mitigación, incluidos vallados y pasos de fauna, que se han incluido en el proceso con el fin de conseguir la permeabilización de la vía.
- Los costes derivados de las limitaciones impuestas por la optimización de aspectos funcionales de la infraestructura.

- Los costes derivados de las medidas compensatorias.

5.7.2 Descripción de los beneficios

La descripción de los beneficios relacionados con los problemas de fragmentación debe incluir:

- Los beneficios derivados de la conservación de la biodiversidad a largo plazo.
- Los beneficios por el hecho de mantener la conectividad ecológica en el paisaje.
- Los beneficios derivados de la conservación de hábitats de las especies más vulnerables.
- Los beneficios por evitar los accidentes de tráfico provocados por los animales.

La interpretación de los resultados de estos métodos debe tener en cuenta que evitar, reducir o compensar la fragmentación del hábitat es un beneficio a largo plazo y que los costes de no mitigar la fragmentación pueden tener consecuencias con frecuencia irreversibles para la conservación de especies o hábitats de alto interés. En otras palabras, los beneficios se mantendrán mientras exista una relación de tensión entre la infraestructura y la estructura ecológica. Los beneficios pueden aumentar a lo largo del tiempo, cuando la nueva infraestructura tenga efectos secundarios, derivados de cambios en la urbanización o, en general, variaciones en los usos del suelo, lo cual puede aumentar la fragmentación del hábitat. El cálculo de los beneficios debe tener en cuenta por tanto la eficacia a largo plazo de las medidas de mitigación y prevención.

5.7.3 Pequeñas inversiones en infraestructuras existentes

Las estructuras transversales (pasos inferiores o superiores, viaductos, falsos túneles, etc.) ya existentes en carreteras y ferrocarriles pueden adaptarse como pasos de fauna, con solo pequeñas modificaciones o adaptaciones. Estas inversiones no siempre solucionan la fragmentación del hábitat, pero pueden aumentar la permeabilidad de las vías al paso de fauna, y por ello, la conectividad ecológica de las zonas que lo rodean. En esta situación, incluso con pequeñas inversiones se pueden obtener grandes beneficios.

5.7.4 Durabilidad de las soluciones

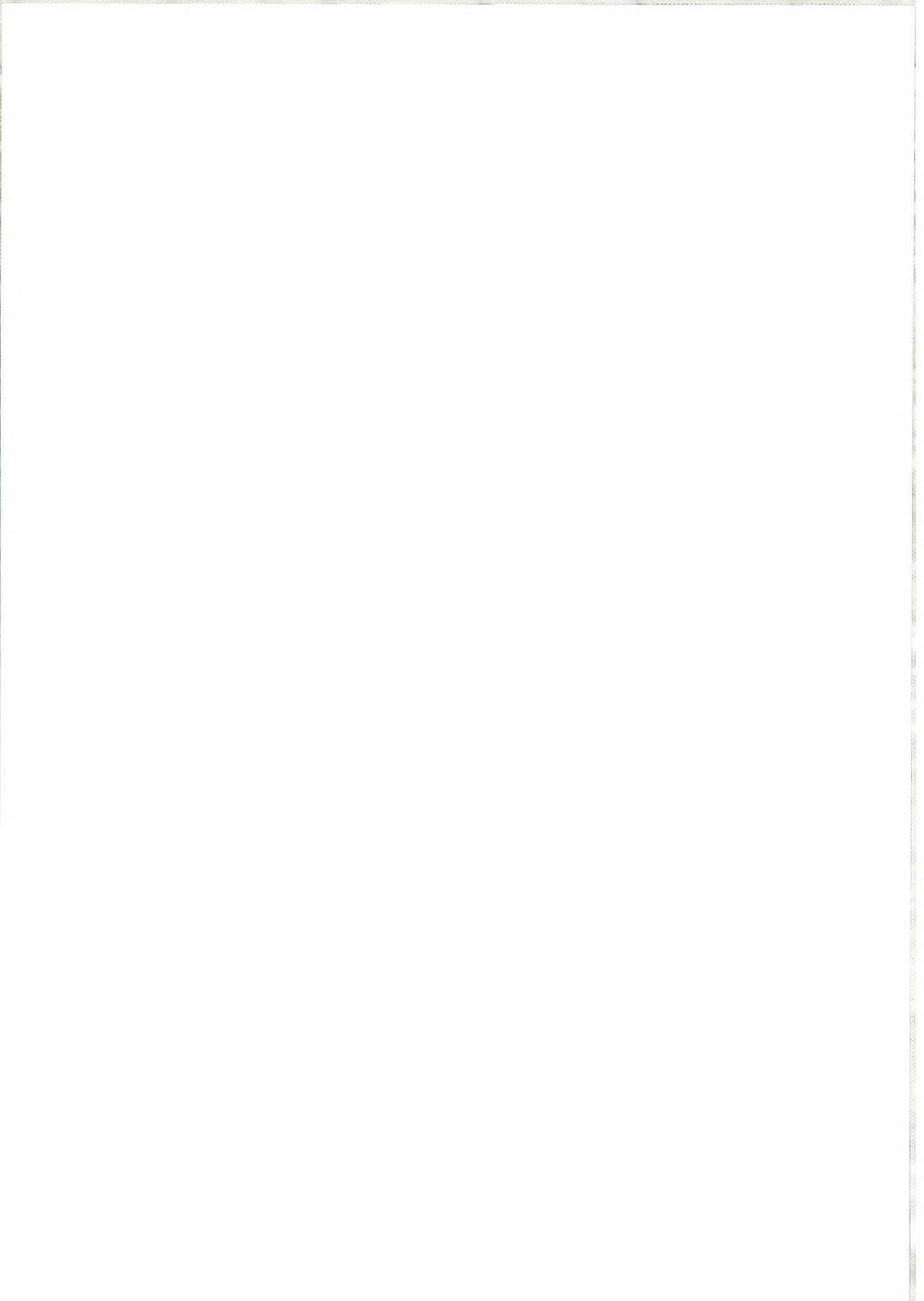
La durabilidad de las medidas de prevención, reducción y compensación de la fragmentación del hábitat es crucial. Es necesario aplicar soluciones sólidas y consistentes, así como construcciones que tengan una larga duración.

La flora y fauna pueden ser muy sensibles a las molestias temporales producidas por las medidas de mejora de la vías, que pueden aumentar incluso el efecto de fragmentación. Las soluciones más económicas pueden resultar a la larga en mayores costes de mantenimiento y poner en peligro los beneficios a largo plazo. Por ello, y considerando el balance de costes y beneficios, las medidas de mitigación se deben diseñar y construir para que garanticen la misma duración que la vida útil de la infraestructura.

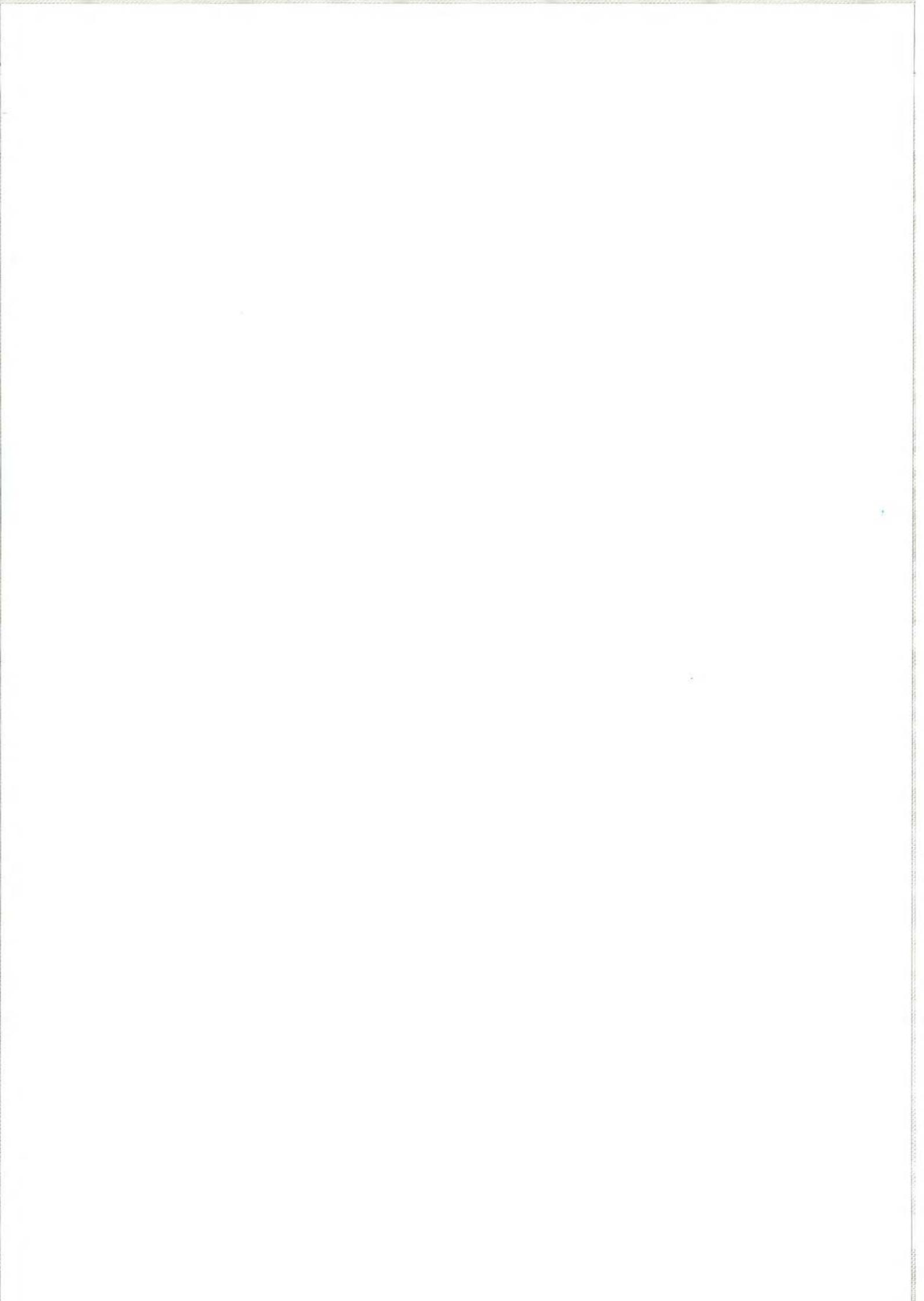
5.8 Síntesis de recomendaciones

Cuando se realicen planes para reducir al mínimo la fragmentación, hay que tener en cuenta que:

- Incluyendo los aspectos relacionados con la fragmentación en las EAA y en el proceso de EIA desde los estadios iniciales de planificación de la vía se pueden tomar decisiones más eficaces aplicables a planes de infraestructuras, alternativas de trazado y diseños de las medidas correctoras.
- Una buena base de información ambiental es fundamental para establecer planes que reduzcan al mínimo la fragmentación provocada por las infraestructuras existentes o las que se van a construir.
- La mejora de las carreteras y vías férreas requiere también una EIA similar al que se utiliza cuando se planifican nuevas carreteras.
- El análisis coste-beneficio basado en factores económicos debe complementarse con análisis de beneficios no económicos, para poder evaluar exhaustivamente las inversiones y sus consecuencias.



6 Integración en el paisaje del entorno



6.1 Introducción

6.1.1 Posibles efectos de la construcción de infraestructuras en el relieve

La construcción de nuevas infraestructuras puede causar distintos impactos relacionados con el relieve:

- Pérdida y fragmentación de hábitats.
- Cambios en los niveles hídricos y en los patrones de drenaje.
- Barreras físicas y visuales producidas por:
 - i) la infraestructura misma
 - ii) los movimientos de tierra
 - iii) terraplenes que cruzan valles y vaguadas;
 - iv) desmontes que fragmentan los hábitats y crean grandes desniveles en las laderas de las montañas
 - v) intersecciones que pueden suponer una barrera para el movimiento de la fauna y una intromisión en el paisaje.

Un buen trazado y un diseño sensible a las características del relieve puede reducir al mínimo la magnitud de estos efectos.

6.1.2 Planteamiento multidisciplinar

La integración y reducción al mínimo de los efectos de la fragmentación provocados por las infraestructuras lineales de transporte requiere la constitución de un equipo de proyecto multidisciplinar compuesto por ingenieros y profesionales de medio ambiente. Para decidir el diseño que se va a utilizar será necesario evaluar las limitaciones ambientales en función de los costes, aunque la decisión final dependerá de la viabilidad técnica y de cuestiones de seguridad vial. No obstante, en algunos casos debe considerarse la posibilidad de cambiar los estándares técnicos para satisfacer las limitaciones ambientales.

El objetivo principal de diseño es crear una infraestructura de transporte lineal que se integre en el entorno paisajístico.

La infraestructura debe disponer de puntos de conexión superiores y/o inferiores a la vía, para mantener la conexión de los hábitats y pasos que permitan la dispersión de fauna y flora.

Todos los elementos técnicos de la infraestructura se deben diseñar de forma que supongan la mínima intrusión en los hábitats naturales, por ejemplo, usando viaductos para cruzar un valle en vez de un terraplén.

6.1.3 Principios de mitigación

La mejor medida de mitigación es elegir el trazado que cause menores impactos y el diseño más adaptado a las formas de relieve. Los trabajos de preparación del terreno son parte íntegra del plan de medidas preventivas y correctoras y son un aspecto clave para armonizar la vía con el paisaje adyacente. Los trabajos de preparación del terreno se estudian con más detalle en el siguiente apartado. Otros factores de mitigación que hay que tener en cuenta son:

- Utilizar todos los recursos legales para poder adquirir los terrenos necesarios para la construcción e instalación de las medidas de mitigación.
- Cuando una nueva infraestructura declarada de excepcional interés, o una mejora de una vía existente, afecten un lugar de importancia europea (*es decir*, designado como Lugar de Importancia Comunitaria o ZEPA) o de alto interés de conservación (otros espacios protegidos), será necesario aplicar al máximo el principio de precaución y optimizar la disposición de medidas correctoras y compensatorias.
- Diseñar planes de mantenimiento eficaces y a largo plazo, considerando las limitaciones de las condiciones imperantes en la zona.

6.2 Trazado

El trazado y diseño de los trabajos de preparación del terreno deben responder a la topografía del mismo y a las formas del relieve a pequeña escala. La idea principal es aprovechar la topografía utilizando elementos técnicos para reducir al mínimo la fragmentación del hábitat y optimizando las posibilidades de facilitar conexiones biológicas con pasos superiores o inferiores a la infraestructura. Los trabajos de preparación del terreno deben responder a los pequeños cambios en las características geológicas que aparecen a lo largo del trazado. El diseño de cada proyecto tiene que tener en cuenta todos los estándares normativos, que variarán según el tipo de infraestructura. Una carretera de un solo carril sin mucho tráfico en un terreno montañoso, puede tener curvas de radio menor y gradientes más pronunciados, que una autopista de dos carriles que tenga que soportar más tráfico y por tanto será necesario construir gradientes de menor nivel y curvas menos pronunciadas. Aún así,

en algunos casos será necesario estudiar la posibilidad de cambiar ligeramente los estándares (siempre que no vaya en detrimento de la seguridad del tráfico) si con ello se evita atravesar un lugar de interés para la conservación de la biodiversidad.

La presencia de especies o hábitats raros o amenazados a nivel local, pueden influir en el diseño de la vía, a la hora de elegir el trazado y en los trabajos de preparación del terreno. La necesidad de limitar las incursiones en hábitats de alto interés de conservación requiere soluciones innovadoras, como pueden ser la utilización de viaductos, cómo alternativa a los terraplenes en los cruces de valles o vaguadas.

En general, lo más indicado es adoptar un trazado que encaje en el relieve del entorno natural. De esta forma se puede integrar la carretera en el paisaje, reduciendo la necesidad de realizar movimientos de tierras y de causar alteraciones en los terrenos adyacentes (Figura 6.1).



Figure 6.1 - Circunvalación A4/A46 Batheaston/Swainswick situada en el Área Cotswolds designada como Lugar Natural de Belleza Destacada del Reino Unido (AONB), y próxima a la ciudad de Bath, Patrimonio de la Humanidad. El diseño de la vía contempló el tratamiento paisajístico que se desarrolló junto con el diseño de la autopista para que la infraestructura se ajustase en lo posible al relieve. Se utilizaron motas y terraplenes de baja altura para ocultar el tráfico e integrar las pendientes en el relieve. (Foto de Highways Agency)



Figure 6.2 - La carretera de circunvalación A27 de Brighton bordea la zona de South Downs en el Sureste de Inglaterra, designada como Lugar Natural de Belleza Destacada (AONB). Nivelando los desmontes y terraplenes en una proporción de 1:6 se ha conseguido dar a la carretera un carácter similar a su entorno. (Foto de Highways Agency, RU)

6.2.1 Adaptación a relieves montañosos y valles

Un trazado que transcurra al pie de una cordillera permitirá que la infraestructura quede oculta a la vista. Incluso pequeños relieves montañosos se pueden utilizar para este fin; una elevación de solo cinco metros puede servir para ocultar completamente la construcción. Los beneficios para la fauna son un menor nivel de ruido, reducción de las molestias de las luces de los vehículos y la prevención de que la sal utilizada para el deshielo alcance los hábitats del entorno de la vías.

Aunque en general hay que evitar los trazados que siguen la línea del horizonte, en algunos casos la construcción de la plataforma del trazado siguiendo una cresta puede tener ventajas ambientales, evitando la alteración de fondos de valles en los se puede causar un impacto importante en determinados hábitats de interés como las formaciones de ribera y los humedales.

Cuando la infraestructura discurre por la parte superior de un valle o a media ladera, la intrusión puede ser significativa. En tales situaciones, se deben diseñar adecuadamente los trabajos de preparación del terreno, evitando los grandes movimientos de tierra y tratando

de que la infraestructura se adapte lo máximo posible a los perfiles naturales del terreno (Figura 6.2). Calzadas de un solo sentido y a distintos niveles o pendientes de taludes con una inclinación adaptada al terreno circundante son soluciones muy eficaces de diseño. No obstante, hay que tener especial cuidado de no modificar las pendientes donde haya hábitats o especies vulnerables.

Habrà ocasiones en las que será posible construir pequeños tramos de la infraestructura sobre viaductos que permitirán mantener la conectividad en el paisaje. Para más información, véase el apartado 7.3.1.

La construcción de la infraestructura por el fondo del valle, solo puede ser aceptable si no se alteran los cursos fluviales y los bosques de ribera.

6.2.2 Trazados en paisajes llanos

El diseño de un trazado bien integrado a los ambientes de llanura, que pueden presentar variados paisajes (zonas agrícolas, humedales, etc.) debe tener en cuenta la escala de paisaje, el contexto y los principios siguientes:

- Aunque es técnicamente difícil deben integrarse en el proyecto pasos de fauna para determinadas especies de referencia. Incluso en los terraplenes de menor altura se pueden utilizar tubos o marcos similares a los utilizados para drenajes, que pueden ser útiles para los anfibios y algunas especies de carnívoros como los tejones, las ginetas o las garduñas (véase apartado 7.3.5).
- La infraestructura de transporte debe mantenerse en lo posible al mismo nivel del terreno, aunque en algunos puntos será necesario elevar ligeramente la rasante de la vía para permitir la ubicación de un paso inferior de fauna, o bien, hundirla si se requiere ubicar un paso superior.
- Los trazados que se integran en la topografía del terreno, respetando la red de drenaje y la vegetación son los más idóneos.
- Algunos de los paisajes situados en terrenos llanos, y en particular los humedales, tienen un alto valor ecológico, por lo que hay que tratar siempre de no alterar este tipo de hábitats.
- Hay que evitar los terraplenes pronunciados e intrusivos, que provocan un fuerte efecto barrera. Es mejor utilizar viaductos que mantengan intacta la conectividad ecológica.
- El diseño de los taludes de la vía debe imitar la forma de los componentes existentes en el paisaje de los alrededores, para conseguir una máxima integración (Figura 6.3).



Figure 6.3 - Autopista M6, en Cumbria, en el norte de Inglaterra. La carretera transcurre por una zona montañosa evitando el fondo del valle. Los taludes se restauraron con vegetación autóctona característica de esta zona de montaña. (Foto de Highways Agency)

6.2.3 Cruce de valles

En los valles, la infraestructura se puede construir sobre terraplenes o viaductos. Estos últimos tienen notables ventajas ambientales siempre que se elija el tramo más adecuado (véase apartado 7.3.1).

Los viaductos son adecuados en valles estrechos y en el cruce de grandes humedales, ya que:

- Reducen al mínimo la fragmentación y pérdida de hábitats en el valle, permitiendo que los cursos de agua, bosques riparios o cualquier otro elemento ecológico de interés discurran por debajo de la estructura (Figura 6.4).
- Mantiene la posibilidad de dispersión de las especies que se desplazan siguiendo los valles.
- Permiten reducir el impacto estético que produciría un trazado en terraplén.

Los terraplenes pueden utilizarse en valles más anchos y llanos, sin cursos fluviales de importancia ya que:

- Permiten mantener cierto grado de conectividad mediante el uso de pasos inferiores y adaptación de drenajes adecuadamente dimensionados (Figura 6.5).
- Se pueden integrar en el terreno adyacente, mediante un buen perfilado del terreno y plantaciones.
- Ofrecen posibilidades para la realización de apantallamientos mediante revegetaciones.



6

Figure 6.4 - Los viaductos reducen al mínimo la pérdida de terreno y la fragmentación, permitiendo que los cursos de agua y otros elementos de interés ecológico discurran por debajo de la estructura. Este es un viaducto de la autovía A9 que pasa por encima de un humedal de importancia en el Río Miño, en Galicia, Noroeste de España. (Foto de AUDASA)



Figure 6.5 - Autopista M40, Oxfordshire. En este caso el terraplén constituye un carácter dominante en el paisaje; no obstante, se trató de conservar el carácter y la forma del río a ambos lados de la carretera. (Foto de Highways Agency)

6.2.4 Cruce de cursos fluviales

En ocasiones es inevitable tener que desviar o cruzar los cursos de agua y para ello se requiere un diseño que se ajuste bien a las condiciones del paisaje y reduzca al mínimo la alteración del curso fluvial y del entorno ribereño.

En general, la restauración de cursos fluviales, debe respetar la fisonomía inicial del curso afectado, manteniendo el flujo del agua en condiciones similares a las iniciales, y con un adecuado tratamiento de los márgenes para facilitar el crecimiento de la vegetación de ribera. Puntualmente, para evitar la erosión de los márgenes, se pueden aplicar sistemas de geotextiles y modulares, que permiten fijar la vegetación ribereña ya desde los estadios iniciales de la restauración. Tanto los sustratos como las plantas que se utilicen deben ser las mismas que se encuentran en la zona de actuación de manera natural, usando a ser posible materiales de procedencia local. Es importante que los animales puedan salir con facilidad de los cursos restaurados y canalizados, por lo que hay que evitar orillas con una inclinación muy pronunciada o construcciones de hormigón. Cuando no haya más remedio que utilizar esta alternativa, se pueden construir escolleras de piedras, salidas escalonadas o rampas que permitan la salida de los animales en algunos

puntos. En cuanto a otras medidas adicionales de conservación, se pueden realizar actuaciones para favorecer a la fauna como crear estructuras adecuadas para facilitar la nidificación de aves, así como crear franjas que se mantengan secas al borde del curso de agua, y que podrán ser utilizadas para el paso de distintas especies, entre ellas los pequeños y medianos mamíferos.

6.2.5 Intersecciones y rotondas

Las intersecciones y las rotondas en las autopistas pueden suponer trampas o islas para la fauna y son muy intrusivas a menos que estén bien situadas y diseñadas, reduciendo al mínimo el impacto que pueden causar los paneles de señalización, luces, etc. Para reducir el fuerte efecto de fragmentación de las intersecciones, será necesario proyectar buenas conexiones por encima o por debajo de las calzadas, dependiendo de lo que sea más adecuado para las especies de la zona.

Las intersecciones más importantes, cuando sea posible, se deben ubicar a un nivel ligeramente inferior al del terreno, o apantallarlas mediante la construcción de motas.

El terreno situado en el interior de las intersecciones puede ser muy extenso y puede ser revegetado creando,



Figure 6.6 - Autopista A73, Limburg, Países Bajos. Los espacios de terreno situados entre los bucles de carreteras están densamente plantados para reducir la pérdida de superficie forestal. (Foto de Rijkswaterstaat)

o conservando bosques, prados y humedales (Figura 6.6). Sin embargo, debe garantizarse la conexión de estas zonas con los terrenos adyacentes y además, pueden convertirse en trampas peligrosas para la fauna. La aplicación de medidas compensatorias no debe utilizar estas superficies para la creación de hábitats, ya que se trata de zonas muy alteradas y con alto riesgo de mortalidad para la fauna.

Otros aspectos a considerar se destacan a continuación:

- La conectividad entre los tramos de una intersección puede ser muy importante para el desplazamiento de la fauna y se puede conseguir construyendo pasos inferiores específicos, o adaptación de drenajes.
 - Para evitar que los grandes mamíferos accedan a las calzadas por estas intersecciones es recomendable la instalación de vallado perimetral.
 - Cuando se instalen vallados discontinuos, es imprescindible que vayan acompañados de salidas para los animales que consigan penetrar en el interior de la intersección.
 - Cuando sea posible, se debe conservar la vegetación original en las superficies del interior de la intersección.
- Los pequeños desmontes, especialmente los situados en zonas montañosas, pueden dejar expuestas rocas que pueden tener cierto valor estético, y que pueden dejarse al descubierto, sin revegetar.
 - Cuando sea posible se debe adaptar el talud al plano de estratificación de la roca creando pendientes estables, que no requerirán de mallas de contención u otro tipo de elementos artificiales.
 - En zonas de relieve agreste, con bosques y prados, un desmonte con una superficie irregular puede ser una solución que se integre mejor en las zonas adyacentes, e incluso facilitar la creación de hábitats para determinadas plantas y animales invertebrados.
 - Un perfil redondeado y adaptado al relieve local en la parte superior de los desmontes, conseguirá una mejor integración a la forma natural del terreno.

6.3 Adaptación de taludes

6.3.1 Emplazamiento

Cuando la visión lateral de una infraestructura sea muy intrusiva en el paisaje, es posible ocultarla mediante su paso en trinchera entre desmontes. Sin embargo, los desmontes además de fragmentar el hábitat, crean un corte en el paisaje y dejan al descubierto los taludes, causando un notable impacto paisajístico. Un buen diseño de la parte superior del desmonte, puede contribuir a paliar el efecto estético y los pasos superiores o falsos túneles pueden ayudar a restablecer conexiones entre los hábitats a ambos lados de la vía.

6.3.2 Adaptación de pendientes al relieve local

Generalmente los desmontes y terraplenes se construyen con pendientes uniformes de 1:2, distintas a las del entorno natural, que normalmente son variables e irregulares. Un buen diseño de las pendientes, adaptándolas al relieve local puede contribuir a una mejor integración de los desmontes y terraplenes y facilitar la implantación de una gran variedad de hábitats.

- Los distintos tipos de roca constituyen pendientes naturales diferentes. Cuando sea posible, los desmontes deben imitar estas formaciones.

6.3.3 Bermas

Las bermas son un elemento a utilizar para dividir los taludes en los grandes desmontes y suavizar su impacto visual (Figura 6.7). Pueden proporcionar mayor estabilidad estructural y facilitar el crecimiento de vegetación. También pueden facilitar la creación de microclimas más adecuados para determinadas especies de fauna y flora silvestre. Es importante que las bermas se integren en los planos de estratificación de la roca natural.

6.3.4 Afloramientos rocosos

En los taludes pueden quedar expuestos afloramientos rocosos que le dan un carácter singular al trazado (Figura 6.8), y que además pueden crear hábitats poco

comunes que alojan especies de interés. Estas actuaciones son con frecuencia una opción mejor que intentar revegetar los taludes de pendientes muy pronunciadas.

- Es recomendable no cortar de manera homogénea el talud, sino establecer un perfil variado que facilitará la implantación de vegetación. Es preferible, cuando sea viable, que la revegetación se realice a partir de regeneración natural.
- Se debe dejar una distancia de seguridad entre el afloramiento y la carretera.
- Periódicamente se deberá supervisar, y estabilizar si es necesario, la superficie de roca expuesta, la vegetación y el terreno circundante.



Figure 6.7 - Las bermas dividen los desmontes muy pronunciados y crean micro-hábitats para la flora y la fauna, como se puede apreciar aquí en la autopista D1, en la República Checa. (Foto de V. Hlavác)



Figure 6.8 - Este afloramiento rocoso, en el que se ha regenerado la vegetación natural y queda expuesta la forma característica de la caliza, da un carácter singular a la carretera A6, en Derbyshire. El muro de piedra de la parte superior resalta el afloramiento. (Foto de Highways Agency)

6.3.5 Falsos desmontes

Los falsos desmontes, creados con la construcción de motas, son un medio para ocultar la carretera de la vista tanto de las personas, como de los animales. Se trata de hundir la carretera, de manera que desde el terreno circundante no sea visible ni la infraestructura ni los vehículos (una profundidad de 2 m es suficiente para ocultar los coches). Es una solución adecuada en terrenos ligeramente ondulados donde no se puede crear un desmonte natural. El mejor efecto se obtiene cuando la parte exterior del talud se integra de nuevo en el paisaje dándole el mismo uso que las superficies adyacentes. Estos taludes también se pueden utilizar para proteger los terrenos colindantes que tengan un especial interés de conservación de las perturbaciones derivadas del uso de la infraestructura, como por ejemplo la dispersión de la sal que se utiliza para el deshielo, las luces y los ruidos.

6.3.6 Inclinción de los desmontes y terraplenes

Suavizando la inclinación de los desmontes y terraplenes se puede conseguir una mejor integración de los taludes en el paisaje circundante. Asimismo, una adecuada distribución de los materiales puede contribuir a integrar los taludes y facilitar su revegetación. La inclinación

de los taludes con pendientes inferiores a 1:2 evita la compactación y facilita el crecimiento de la vegetación.

No obstante, a veces no es conveniente reducir la inclinación de los desmontes y terraplenes de mayores dimensiones, bien sea porque el movimiento de tierras necesario lo convierte en algo impracticable, o para evitar afectar una gran extensión de las superficies adyacentes; esto puede causar impactos importantes cuando comporta la pérdida de hábitats de interés especial de conservación. En estos casos, se debe prestar más atención a los perfiles de la parte superior de los desmontes y la base de los terraplenes, y en sus acabados, para conseguir una mejor integración.

6.4 Soluciones de diseño

6.4.1 Túneles

Un túnel puede ser una de las mejores soluciones para proteger los entornos de alto valor ecológico (véase Capítulo 5).

Aunque los costes de construcción sean altos, las ventajas para el medio ambiente pueden ser muy notables. La importancia de estas ventajas depende del método utilizado para la construcción del túnel. Los perforados permiten conservar intacto el valor natural del entorno y causar una mínima afectación ambiental (Figura 6.9). Los falsos túneles serán más



Figure 6.9 - Los túneles perforados dejan el hábitat de la superficie intacto. Son soluciones idóneas en zonas montañosas, como este ejemplo en Bavaria, Alemania. (Foto de B. Georgii)

adecuados para entornos con menor interés de conservación, pero en los que se requiere una óptima conexión de los hábitats de ambos lados de la infraestructura.

Los problemas de diseño que habrá que analizar con detalle para reducir los impactos de fragmentación son la ubicación de las entradas del túnel, su tratamiento paisajístico, el trazado con la carretera y el diseño y ubicación de los conductos de ventilación y edificios de control. Estos elementos pueden causar una agresión a los hábitats, provocando perturbaciones y contaminación que pueden afectar a las especies más sensibles.

Falsos túneles

En tramos en los que no es viable la construcción de un túnel perforado, una buena alternativa es la construcción de un falso túnel que permite restaurar los hábitats a lo largo del tramo cubierto.

La revegetación del falso túnel debe diseñarse adaptándola al contexto del paisaje de su entorno. En algunos casos, cuando la estructura se integra en un entorno forestal, puede ser necesaria la plantación de árboles, aspecto que deberá tenerse en cuenta tanto en el cálculo de resistencia como en el drenaje de la estructura. Siempre que sea posible se realizarán acopios del suelo que originalmente se encontraba en ese emplazamiento, y que luego posibilitará la recuperación de especies de la flora local. Los acopios deben almacenarse durante el período de construcción, de manera que se reduzca al mínimo la compactación y pérdida de estructura de los materiales.

El perfil del terreno en la superficie del falso túnel debe ser similar a la del terreno adyacente, reproduciendo las características hidrológicas, estructura física y propiedades químicas del sustrato original.

Cuando este tipo de túneles se destine especialmente a facilitar la conexión biológica, las plantaciones deberán diseñarse de manera que constituyan un hábitat atractivo para las especies de referencia a las que vaya destinada la estructura.

6.4.2 Uso de la vegetación

Durante la fase de proyecto es importante analizar cual es el tipo de vegetación y la composición de especies más adecuado para aplicar al diseño de plantaciones de la nueva infraestructura de transporte. Los puntos que hay que tener en cuenta son la integración paisajística, la conservación de la biodiversidad y los intereses de los usuarios de la vía. Preferentemente se deben plantar especies autóctonas (sobre todo en las zonas rurales) que aparezcan de forma natural en el terreno adyacente al trazado.

Deben ser especies resistentes y que no requieran riego artificial para su supervivencia. Donde sea preciso, se deberá tener en cuenta la regeneración natural como método alternativo de revegetación de las nuevas superficies que aparecen en los márgenes de las carreteras. La regeneración natural proporciona un hábitat más integrado en el entorno local.

Por otra parte, en algunas regiones del Mediterráneo existe una legislación especial para regular el uso de vegetación en los márgenes. El alto número de incendios forestales que se inician cerca de las carreteras ha obligado a elaborar legislación que regula el tratamiento de los márgenes de las infraestructuras, como por ejemplo en el caso de Cataluña, donde se ha regulado el uso de plantas pirófitas en las revegetaciones y se ha establecido la obligatoriedad de evitar la continuidad de las copas de los árboles entre los márgenes y los terrenos adyacentes a la carretera.

Conservación de la vegetación existente

Debe considerarse el valor de conservación de la vegetación existente, en especial de las comunidades más maduras, ya que a ella van asociadas una alta diversidad de flora y fauna silvestres.

La conservación de la vegetación existente allá donde sea viable, puede contribuir tanto a la conservación de la biodiversidad como a la integración de la infraestructura.

Siempre que sea posible, es recomendable conservar los árboles de más edad, ya que constituyen el hábitat de muchas especies.

La plantación de determinadas especies, particularmente de arbustos, características de bordes de bosques, pueden contribuir al mantenimiento de los valores ecológicos de los mismos.

Función de pantalla

En algunos tramos, la plantación de árboles de gran altura se utiliza para formar una barrera que impida que determinadas especies de aves rapaces (por ejemplo la lechuza) cacen a lo largo de los márgenes de las infraestructuras. Además, estas pantallas constituidas por árboles altos también sirven para obligar a las aves a elevar su altura de vuelo, evitando así que sean víctimas de colisión con vehículos o bien resulten afectadas por las turbulencias generadas por el tráfico.

Algunos aspectos a tener en cuenta son (véase apartado 7.3.6):

- Es importante que en estas pantallas no se utilicen plantas productoras de frutos apetentes para las aves, que podrían atraerlas hacia el entorno de la infraestructura.

- Los árboles deben plantarse a una distancia segura de la carretera, según se especifique en las normativas de cada región o país.
- Una pantalla de vegetación bien diseñada debe tener una altura y anchura variadas y no impedir completamente al usuario de la vía la visión del paisaje.

Regeneración de zonas forestales

La regeneración de bosques requerirá un largo período de gestión de las masas de árboles y arbustos que crezcan mediante regeneración natural.

En la restauración de zonas forestales deberá considerarse:

- La estructura y composición de los bosques regenerados debe ser similar a la de los entornos forestales de los terrenos adyacentes.
- Las especies deben ser autóctonas, utilizando siempre que sea posible, las variedades locales.
- Siempre deben mantenerse las distancias correctas de plantación de árboles al borde de la calzada, en función de las normativas vigentes en cada región.

Plantaciones de arbustos

Las comunidades de arbustos pueden ser tan variadas como los bosques, o bien, estar compuestos por grupos uniformes de especies (como por ejemplo espinos o endrinos) que se seleccionarán en función de la composición de las comunidades arbustivas autóctonas. Es importante evaluar las condiciones locales del terreno y evitar la introducción arbitraria de especies. También es importante, en países mediterráneos, evitar el uso de plantas pirófitas que contribuyan al inicio o la dispersión de incendios forestales.

Los pequeños grupos de arbustos pueden ser útiles para suavizar las lindes de los bosques e integrar la infraestructura en el paisaje.

Setos

Los setos hay que plantarlos cuando sean una característica relevante del paisaje del entorno como, por ejemplo, en zonas agrícolas. En algunos casos pueden ser importantes para la conservación de la biodiversidad, sobre todo cuando constituyen corredores que orientan el desplazamiento de especies tales como los murciélagos, pájaros y pequeños mamíferos. El diseño de estos setos puede incorporar también árboles, y es importante que se pueda acceder a ellos para realizar las tareas de mantenimiento.

La composición de las especies debe reflejar la de los setos próximos y es recomendable plantar en doble

hilera, ya que ello favorece el efecto de conducción de animales que se desplazan entre ellas.

Plantaciones herbáceas

La plantación de árboles y arbustos puede que no sea la mejor estrategia paisajística para todo el trazado de la nueva infraestructura. Cuando no sea necesario crear una pantalla de vegetación, es posible que lo más adecuado sea utilizar plantas herbáceas o arbustos de bajo porte que tengan un interés especial de conservación.

- Las plantaciones herbáceas deben estar constituidas por especies de bajos requerimientos de mantenimiento, si es posible que no requieran siega. También es preferible que tengan una baja fertilidad, para evitar densidades excesivas, o que colonicen los entornos adyacentes.
- Las plantaciones de especies autóctonas, pueden ofrecer un interés añadido de conservación si se realizan a partir de semillas recolectadas en los alrededores de la zona de actuación, para preservar las variedades locales.
- Para asegurar el establecimiento de hábitats de valor natural, es esencial elaborar un buen programa de gestión y mantenimiento de estas formaciones vegetales. Uno de los aspectos con mayor incidencia en la calidad de estos hábitats es la frecuencia y altura de la siega, que puede regularse en función de cuales sean los objetivos requeridos.

La elección de las semillas de flora silvestre es compleja y debe ajustarse a las condiciones locales y disponibilidad de las mismas. En todo caso, siempre es preferible el uso de especies autóctonas.

Una buena gestión de todos los tipos de vegetación es un requisito esencial para conseguir que las plantas alcancen la madurez. Es un punto que hay que tener en cuenta durante la fase de proyecto de la vía, estableciendo claramente las especificaciones técnicas para el diseño y mantenimiento de plantaciones, incluido el tamaño de las plantas, la distancia de plantación entre las mismas, la preparación del terreno y todos los requerimientos de mantenimiento.

6.4.3 Vallas y muros

Las vallas y los muros pueden crear un notable efecto barrera para algunas especies animales, así como un efecto paisajístico muy significativo. Su uso se debe restringir a los tramos en que sea absolutamente necesario. Las especificaciones técnicas para la realización de vallados se pueden consultar en el capítulo 7, aunque los principios generales para poderlos integrar en el paisaje son los que aparecen a continuación.

- Su tipología y trazado deben definirse procurando una buena integración en el entorno.
- La plantación de hileras de arbustos puede complementar los vallados. Su uso, en el entorno de las vías proporciona hábitats para algunas especies y puede orientar los desplazamientos de los animales, facilitando, por ejemplo, la localización de los accesos de los pasos de fauna.
- La colocación de vallados en puntos singulares, tales como los estribos de los puentes y las intersecciones, debe realizarse con particular atención para evitar que queden agujeros por los que los animales puedan penetrar en las calzadas.
- Los vallados y muros pueden reflejar las tipologías constructivas locales e incluso usar el mismo tipo de materiales de construcción (Figura 6.10).
- Cuando sea posible hay que evitar que el vallado sea el elemento dominante y procurar que quede oculto de la línea del horizonte.
- Es recomendable que los vallados se alineen con la carretera, en lugar de delimitar las propiedades privadas colindantes con la infraestructura (Véase sección 7.4.1.).

6.4.4 Pantallas para prevenir impactos ambientales

Algunas pantallas tienen como objetivo evitar los impactos negativos que las infraestructuras pueden generar en su entorno. Ejemplos de ello son las pantallas instaladas para reducir el ruido, que pueden ser de madera, hormigón u de otros materiales especialmente diseñados para conseguir una mayor reducción del nivel sonoro en las zonas adyacentes a la vía. También

estos elementos pueden incrementar el efecto barrera de la vía y deben ser objeto de atención. Otro caso es el del uso de pantallas transparentes para reducir el ruido, que pueden causar mortalidad por colisión de aves contra este obstáculo (véase apartado 7.4.5).

6.4.5 Iluminación

La iluminación se debe diseñar de manera que solo se ilumine la carretera o vía férrea, reduciendo al mínimo la contaminación visual en el entorno de la vía. El tipo de lámparas escogido también es determinante para reducir el efecto de atracción de animales (en particular, insectos y murciélagos) hacia estos entornos con alto riesgo de mortalidad. Para más información, véase el apartado 7.4.6.

6.4.6 Drenajes y balsas

Los sistemas de drenaje perimetral y accesos al drenaje transversal deben diseñarse de manera que se integren en el entorno. Los drenajes se pueden ocultar con geotextiles y vegetación, cómo alternativa al hormigón, y cuando no haya más remedio que utilizar materiales sólidos, se puede recurrir al uso de materiales semejantes a los existentes en la zona. Además, los canales de captación (drenajes perimetrales) pueden servir para separar las infraestructuras de los terrenos adyacentes que tengan un interés especial de conservación. También en la construcción de los drenajes hay oportunidades para reducir el impacto paisajístico y sobre la conservación de la biodiversidad.

Los diseños deben garantizar la protección de los cursos fluviales y las aguas subterráneas de la erosión o la contaminación. En determinadas situaciones habrá que utilizar balsas de compensación y cámaras de sedimentación.



Figura 6.10 - La carretera M6, en Cumbria, queda oculta entre muros de piedra que dificultan su visión desde el entorno. (Foto de Highways Agency)

- Las balsas de compensación pueden constituir elementos singulares en el paisaje y tener cierto interés para la fauna y flora silvestres, siempre y cuando el diseño esté bien integrado en su entorno, y las aguas no presenten un alto grado de contaminación debido a la incorporación de materiales procedentes de las calzadas. En este caso, sería preferible colocar vallados que impidan el acceso de la fauna a estas áreas contaminadas.
- Los perfiles superiores de las balsas de compensación deben tener poca profundidad en los extremos para que pueda crecer determinado tipo de vegetación, como carrizos y plantas herbáceas características de ambientes húmedos, y también para facilitar el acceso de los anfibios que pueden utilizar estas balsas como puntos de reproducción.
- La flora y fauna autóctonas solo se asentarán si se mantiene una buena calidad del agua.
- También es posible considerar la posibilidad de aumentar la extensión de las zonas no permanentemente inundadas en las balsas de compensación, de manera que se pueda constituir un humedal alrededor de la estructura, si estos elementos son adecuados en el contexto paisajístico local.

Los sumideros y arquetas de acceso a los drenajes pueden constituir una trampa para anfibios, reptiles y otros animales de pequeñas dimensiones. Se debe intentar reducir al mínimo el riesgo tanto en su diseño, como en su mantenimiento (véase apartado 7.4.6.).

Las operaciones de mantenimiento que aseguren la función hidrológica de los sistemas de drenaje deben planificarse adecuadamente para que la fauna y la flora puedan quedar en una parte del sistema donde no resulten afectados.

6.5 Síntesis de recomendaciones

Para conseguir una buena integración del trazado en su entorno, los equipos que elaboran los proyectos de infraestructuras de transporte deben tratar de:

- Elegir un trazado que:
 - i) respete el relieve del terreno
 - ii) requiera el mínimo movimiento de tierras
 - iii) reduzca al mínimo la pérdida de hábitat
 - iv) evite la afectación de lugares de interés especial para la conservación de la biodiversidad, y proteja recursos no

6



Figura 6.11 - Las balsas de compensación ofrecen una oportunidad para crear hábitats de interés. (Foto de Highways Agency)

renovables (como por ejemplo los bosques maduros)

- v) mantenga la conectividad biológica, facilitando pasos de fauna superiores o inferiores a la infraestructura.
- Diseñar perfiles que reflejen la topografía local: las pendientes de los terraplenes y los desmontes tienen que ser similares a las pendientes del terreno en el entorno de las infraestructuras y utilizar motas para reducir al mínimo el ruido y el impacto visual.
- Tratar de utilizar de forma sostenible el material excavado, es decir, intentar mantener un equilibrio entre el material que se extrae y el que se utiliza para los terraplenes, reduciendo al mínimo la necesidad de tenerlo que transportar a otro lugar, creando áreas extractivas o vertederos.
- Asegurar que el nuevo sustrato tenga un relieve y estructura que permita el crecimiento de las plantaciones y se puedan llevar a cabo las labores de restauración y mantenimiento.
- El diseño de las plantaciones, tanto en fisonomía como en composición de especies, debe reflejar el de las comunidades vegetales de los terrenos adyacentes.
- Restaurar en lo posible comunidades forestales y arbustivas de interés para la conservación.
- Tener un objetivo claro de diseño y mantenimiento para cada uno de los componentes del proyecto.

7 Pasos de fauna y otras soluciones técnicas

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción	Guía del usuario	Efectos de las infraestructuras	Desarrollo de soluciones integradas	Herramientas de planificación	Integración en el paisaje	Pasos de fauna	Medidas compensatorias	Seguimiento y evaluación	Anexos

7.1 Enfoque general

7.1.1 Cómo utilizar este capítulo

Descripción de las medidas

Este capítulo describe las medidas que pueden aplicarse para mitigar los efectos negativos de las infraestructuras de transporte. Se incluye una descripción general de cada una de ellas, aportando información sobre el diseño, puntos de especial atención, especificaciones técnicas de los materiales y aspectos importantes para garantizar la funcionalidad de la medida. Sin embargo, la intención de este manual, que está pensado para utilizarlo en toda Europa, no es aportar rígidas prescripciones técnicas, sino presentar distintos tipos de soluciones que los ingenieros y técnicos ambientales pueden adaptar a cada situación. En algunos países ya existen manuales de este tipo, que abordan los problemas planteados aquí y que ofrecen información más detallada (véase anexo 4).

Conocimientos de base

Algunas de las medidas adoptadas han sido bien comprobadas y se ha conseguido acumular bastante información sobre su efectividad, mientras que otras son más innovadoras y están todavía en fase de desarrollo y seguimiento. El volumen de información que se presenta sobre cada una de estas medidas refleja su disparidad, pero siempre se informa de las mejores prácticas en función de los conocimientos y experiencias disponibles. Esto significa que algunas recomendaciones pueden diferir de las que aparecen en otros manuales, sobre todo de los que se elaboraron hace tiempo. En algunos casos, las recomendaciones en un país en concreto pueden ser diferentes de las que se presentan aquí, en función de diferencias regionales tales como el clima y los hábitats.

Medidas no recomendadas

Se ha comprobado que algunas de las medidas que se están utilizando no son eficaces. Dichas medidas se mencionan en el texto, pero no se ofrecen detalles, ya que no se recomienda utilizarlas en futuros proyectos.

Relación con otros capítulos

Este capítulo no se debe leer de manera independiente del resto. Para reducir al mínimo la fragmentación hay que empezar con una buena planificación de la infraestructura, ya que el principal objetivo es evitar que se produzcan los impactos relacionados con la fragmentación. Las medidas específicas de mitigación hay que considerarlas, por tanto, como partes de una solución integrada. Antes de leer la descripción detallada de una medida, se recomienda consultar los capítulos

4, 5 y 6 y los apartados 7.1.2 a 7.1.8, para poder disponer de más información sobre la relación entre las distintas medidas y la forma de elegir las más apropiadas. En estas secciones, el énfasis recae en los pasos de fauna, medidas específicamente diseñadas para mitigar el efecto barrera de las vías de transporte.

Estructura del capítulo

Para mayor claridad, las medidas se describen por separado, aunque a veces sea necesario aplicar varias juntas. El capítulo empieza con los pasos de fauna diseñados específicamente para la fauna y sigue con la descripción de las adaptaciones de estructuras de uso mixto (pasos para personas, vehículos, ganado, etc., combinados con paso de fauna silvestre). A continuación se analizan las medidas que sirven para reducir el número de colisiones de vehículos con fauna silvestre y de animales víctimas de accidentes, como vallados y otras técnicas, que se aplican para evitar que los animales accedan a las carreteras o líneas de ferrocarril, así como medidas específicas para mitigar los efectos de los canales.

7.1.2 Tipos de medidas y sus funciones principales

Facilitar conexiones y reducir la mortalidad

Las actuaciones para proteger la fauna de los impactos de la infraestructura de transporte y reducir la fragmentación del hábitat se pueden dividir en dos grupos (Figura 7.1):

- Medidas que reducen directamente la fragmentación conectando los hábitats divididos por la infraestructura, como por ejemplo los pasos adaptados (drenajes, pasos de vías pecuarias, etc.) y los específicos para la fauna (ecoductos, pasos superiores, inferiores, etc.).
- Medidas cuyo objetivo es la mejora de la seguridad de la carretera y la reducción del impacto del tráfico en las poblaciones de animales, disminuyendo la mortalidad relacionada con los atropellos y colisiones con vehículos.

En la práctica esta distinción aparece un poco confusa. Algunas medidas pueden cumplir ambas funciones, pero también pueden tener un impacto negativo asociado. Por ejemplo, los vallados perimetrales son una buena medida para reducir el número de colisiones entre grandes mamíferos y vehículos, pero al mismo tiempo aumentan la fragmentación del hábitat. Por tanto, los vallados hay que considerarlos como una medida para mitigar la fragmentación solo si se utilizan combinadas con pasos de fauna que compensen su efecto barrera. Otro ejemplo, en este caso de las

múltiples funciones que puede tener una medida, es la utilización de pasos inferiores diseñados para nutrias que cumplirán una doble función, la de conectar los hábitats de ambos lados y la de reducir el número de animales que mueren atropellados.

Las medidas diseñadas para reducir la mortalidad de los animales también incluyen la adaptación de estructuras para evitar que puedan convertirse en trampas mortales, sobre todo para los animales pequeños, por ejemplo los drenajes perimetrales o las arquetas.

Las molestias que provocan las carreteras y vías férreas también pueden contribuir a fragmentar el hábitat de la fauna (véase Capítulo 3). En este capítulo no se profundiza en las medidas para reducir las molestias, pero se aportan datos para tenerlas en cuenta junto a otras medidas para reducir las emisiones del tráfico (ruidos, luces y contaminación química).

Pasos específicos para la fauna y estructuras de uso mixto

También se puede establecer otra distinción en lo que respecta al objetivo de las medidas técnicas concretas. Se pueden diseñar pasos específicos para la fauna,

prohibiendo el paso a las personas y vehículos, o bien, modificar las estructuras transversales superiores, inferiores, drenajes, etc. para aumentar la permeabilidad de la infraestructura para los animales. Aquí tampoco se puede establecer una distinción clara entre los dos grupos. Por ejemplo, un paso superior para la fauna que sea suficientemente amplio puede combinar un sector específicamente destinado a la fauna con una pista que pueden utilizar sólo los vehículos de guardas u operarios forestales para cruzar la infraestructura. La adaptación de las estructuras transversales es con frecuencia una de las medidas más adecuadas para reducir el efecto barrera de las vías existentes. Gran parte de estas adaptaciones no son costosas y pueden aumentar significativamente la permeabilidad de la infraestructura.

Tipos de medidas

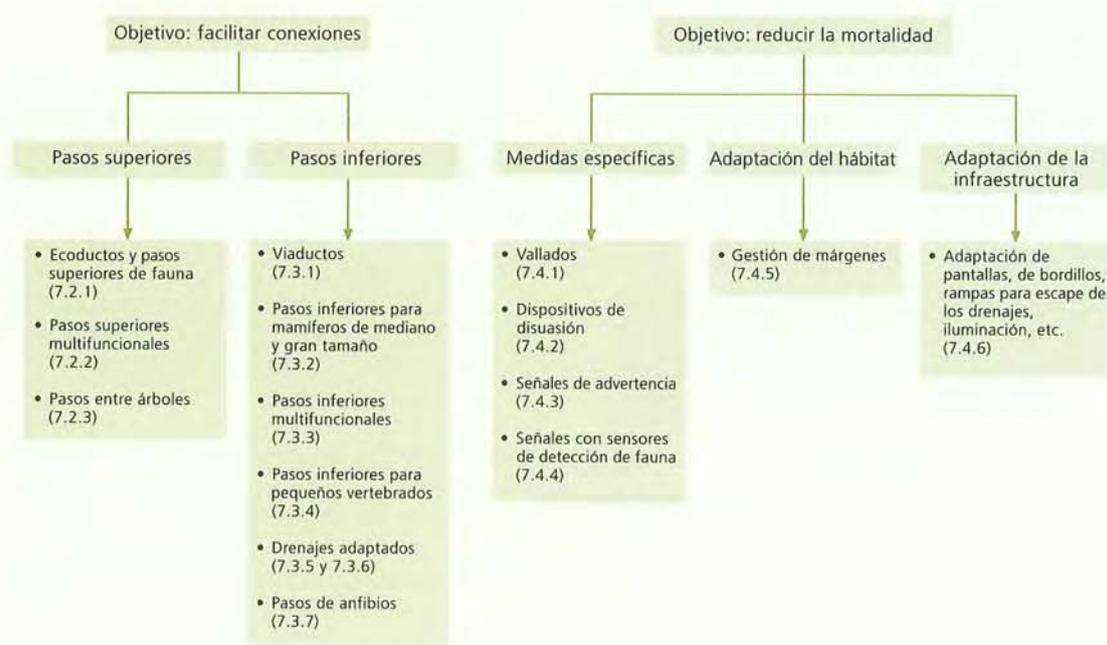


Figura 7.1 - Tipos de medidas aplicables para reducir el efecto barrera y la mortalidad de fauna. Entre paréntesis se indican los apartados en los que se describen las actuaciones.

7.1.3 Pasos de fauna como parte de un concepto de permeabilidad del paisaje

Los pasos de fauna y otras estructuras adaptadas para que los animales puedan cruzar las infraestructuras de transporte no se deben considerar de forma aislada, sino formando parte de un concepto global de permeabilidad que permita que las poblaciones de animales de ambos lados de la vía estén conectadas. Este concepto resalta la conectividad entre los hábitats a escala regional y no solo tiene en cuenta la infraestructura de transporte, sino también la distribución de los hábitats y otras posibles barreras, como las zonas urbanizadas. Los pasos de fauna se pueden considerar pequeños, pero importantes, elementos que se utilizan para conectar hábitats posibilitando que los animales se dispersen cruzando las infraestructuras de transporte.

En el análisis de permeabilidad global de una infraestructura deben integrarse todos los elementos que permiten la conexión de los hábitats, como túneles, drenajes, pasos de restitución de caminos y vías pecuarias, viaductos de cruce de arroyos y ríos, y pasos específicamente diseñados para la fauna. El objetivo del conjunto de medidas debe ser mantener la permeabilidad de la infraestructura de transporte que permita que los hábitats estén conectados a gran escala.

Las medidas de mitigación deben aplicarse siempre que la infraestructura divida partes importantes de un hábitat o cree una barrera para las rutas de migración de fauna, y no sea posible prevenir dicha situación variando el trazado de la infraestructura (véase capítulos 3 y 4). Los pasos de fauna son necesarios cuando:

- Una infraestructura de transporte suponga una amenaza para los hábitats, comunidades o especies de interés para la conservación.
- Una infraestructura afecte a especies particularmente sensibles al efecto barrera y a la mortalidad causada por el tráfico.
- La conectividad entre los hábitats en el entorno de la vía se vea perjudicada por la construcción de la infraestructura.
- Se consideren la solución más idónea para mitigar el efecto barrera en un contexto específico y para determinadas especies.
- La infraestructura cuente con vallado perimetral continuo.

7.1.4 Elección de las medidas adecuadas

Los pasos de fauna y las modificaciones en la infraestructura que posibiliten el desplazamiento seguro de los animales a través de la vía, son las medidas más importantes para mitigar la fragmentación del hábitat de una infraestructura concreta. Hay muchos principios básicos, como por ejemplo los que se refieren a su ubicación o número, que se pueden aplicar para distintos tipos de pasos. Los apartados siguientes tratan de estos aspectos generales.

Tipos de pasos

Para elegir los tipos de pasos más adecuados hay que tener en cuenta el paisaje, los hábitats afectados y las especies a las que van destinadas las medidas (Figura 7.2). La importancia de los hábitats y especies se debe evaluar a escala local, regional, nacional e internacional durante el proceso de EIA (véase Capítulo 5). En general, cuanto más importante sea que las poblaciones de una especie estén conectadas, más elaboradas tendrán que ser las medidas de mitigación. Por ejemplo, cuando por un corredor de importancia regional para el desplazamiento de los grandes mamíferos, atravesase una infraestructura y esta situación no se pueda evitar, la construcción de un gran ecoducto puede ser la única medida que mantenga la conectividad funcional. Por el contrario, un pequeño drenaje puede ser suficiente para mantener un corredor de migración para una población de anfibios de importancia local. En la práctica, sin embargo, no solo debe apostarse por una medida para mitigar la fragmentación del hábitat y, con frecuencia, se requiere la aplicación de un paquete de medidas integradas que aborden los problemas de cada zona en particular y de la infraestructura en general. La mejor solución es, con frecuencia, la aplicación de un conjunto de medidas destinadas a distintos grupos de animales.

Pasos superiores o inferiores

No existen reglas generales para saber cual es el tipo de paso más adecuado. La elección la determinará principalmente la topografía. En un terreno montañoso, generalmente es más fácil construir pasos superiores, mientras que en zonas llanas, es más fácil elevar la rasante de la vía para construir pasos inferiores, siempre que el nivel del acuífero no sea muy superficial. En los apartados correspondientes se ponen ejemplos de pasos superiores o inferiores para distintas situaciones topográficas. Los pasos superiores tienen la ventaja de que pueden ser revegetados creando diferentes microhábitats, ya que la vegetación crece con más facilidad que en los pasos inferiores, y por ello, pueden ser utilizados por una mayor variedad de especies. Por

otra parte, los pasos superiores se mantienen casi siempre secos, por lo que los pasos inferiores son más apropiados para los animales que requieran condiciones de humedad. La elección, por tanto, depende de los hábitats adyacentes que se pretenda conectar y de las preferencias de las especies implicadas. Por ejemplo, se ha observado que cuando existen pasos superiores e inferiores juntos, los cérvidos prefieren utilizar los pasos superiores, mientras que algunos mustélidos, prefieren lo contrario.

Especies de referencia

Cualquier especie silvestre autóctona puede requerir la construcción de un paso de fauna (Figuras 7.3 a 7.6). En cambio, no es recomendable la construcción de pasos de fauna para las especies introducidas o invasoras (a no ser que constituyan un riesgo para la seguridad del tráfico), ya que no es adecuado fomentar su dispersión. En la práctica, la inversión en construcción de pasos de fauna deberá priorizar las especies de interés local o regional, vulnerables a los efectos de la infraestructura. La identificación de estas especies es un paso fundamental en el proceso de planificación,

Elección de los pasos de fauna en relación con la importancia de la zona o del conector ecológico

Cuanto más importante sea un área, conector ecológico o población, más específicas y de mayor magnitud tendrán que ser las medidas

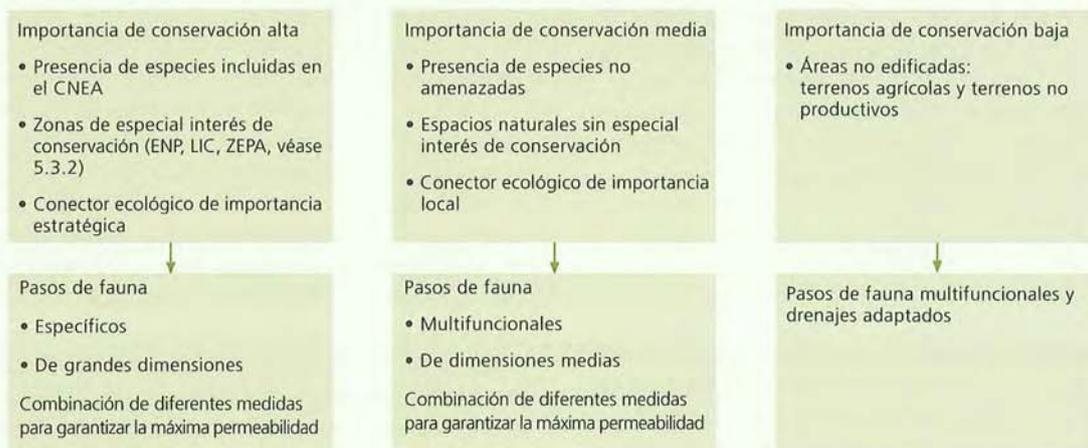


Figura 7.2 – La elección de distintos tipos de pasos de fauna depende del interés de conservación de un área o conector ecológico.



Figura 7.3 – El lince ibérico es una especie en peligro de extinción. Para este felino, que tiene extensas áreas de campeo, una parte esencial de las acciones de conservación es la de proveer conexiones seguras para que pueda cruzar las carreteras. (Foto del Ministerio de Medio Ambiente)



Figura 7.4 – Las colisiones entre cérvidos y vehículos pueden tener consecuencias mortales. Por ello, es necesario construir pasos para los grandes mamíferos, aunque sus poblaciones no estén en peligro de extinción. (Foto de V. Hlavác).



Figura 7.5 – Los pequeños vertebrados como tortugas, otros reptiles y pequeños mamíferos, también utilizan los pasos, así como los insectos terrestres y otros invertebrados, que también requieren que los hábitats estén conectados. (Foto de H. Bekker)



Figura 7.6 – La mortalidad de los sapos comunes es muy alta cuando tienen que cruzar la carretera para dirigirse a los lugares de cría. Por ello, con frecuencia son la especie de referencia para la construcción de pasos específicos para anfibios. (Foto de N. Zbinden)

ya que la ubicación y diseño de los pasos de fauna vendrá determinado en gran medida por la distribución y patrones de movimiento de las especies objeto de las medidas (véase apartado 5.3). La identificación de estas especies es también importante para establecer los programas de seguimiento para evaluar el éxito de una medida (véase Capítulo 9).

Las especies de referencia son importantes para decidir si son necesarios los pasos de fauna y dónde situarlos, pero el diseño de los pasos no debe estar pensado solo para una especie concreta. Por ejemplo, un paso superior construido para conservar una ruta de desplazamiento de cérvidos también puede conectar poblaciones de invertebrados (insectos por ejemplo) o pequeños vertebrados (ratones, lagartos, etc.). Sin embargo, la experiencia ha demostrado que algunos diseños son mejores para unas especies que para otras. En la tabla 7.1 se especifica el tipo de paso que es más adecuado para especies concretas o grupos de especies.

7.1.5 Densidad y ubicación de los pasos de fauna

Densidad de los pasos

La densidad de los pasos de fauna necesarios para mantener la conexión entre los hábitats es una de las decisiones más importantes en la planificación de las medidas de mitigación. Decidir el número y tipo de medidas necesarios dependerá de las especies de referencia y de la distribución de los distintos tipos de hábitat en la zona. En algunos casos serán adecuados uno o dos grandes pasos, mientras que otros problemas podrán ser solucionados con un mayor número de medidas de pequeña escala. Un argumento adicional para construir varios pasos es distribuir el riesgo en caso de que un paso no sea efectivo para las especies para las que se diseñó.

Para poder determinar el número necesario de pasos se debe de conocer el comportamiento de la especie de referencia. La cuenca de captación de los pasos de fauna (es decir, la zona de procedencia de los animales que usarán el paso) es limitada incluso para las especies con gran capacidad de desplazamiento. Para la mayoría de los invertebrados, si existen corredores de hábitat que conduzcan a un paso, la cuenca de captación puede albergar una superficie incluida en un radio de 200-300 m desde los accesos. En los animales más grandes, las áreas de campeo de cada individuo y la interacción social entre los animales determinan la utilización que hagan de ese paso y la extensión de la cuenca de captación.

Cuando se vaya a determinar la densidad de los pasos, se deben considerar todas las probabilidades que tengan los animales de cruzar la infraestructura, incluyendo las que ya existan, por ejemplo, por la presencia de túneles y viaductos. En general, la densidad de los pasos debe ser mayor en las zonas que crucen ambientes naturales, como por ejemplo en bosques, humedales y zonas agrícolas tradicionales, con mosaicos de bosques y cultivos, que en áreas de agricultura intensiva o sectores urbanizados. Sin embargo, en las zonas donde existan barreras artificiales generadas por infraestructuras del transporte o zonas urbanizadas, los pasos de fauna también pueden ser esenciales para mantener la permeabilidad de los corredores biológicos que se mantengan abiertos.

No hay muchos estudios sobre la densidad de pasos necesaria para conseguir determinados objetivos ambientales, por lo que es fundamental incentivar la investigación en este campo. No obstante, existen algunos casos de estudio que sirven de referencia como el de la República Checa que se presenta en el ejemplo incluido en el recuadro (véase tabla 7.2 y Figura 7.7).

Tabla 7.1 - Ideoneidad de diferentes tipos de pasos de fauna para distintas especies o taxones. Entre paréntesis se indican los apartados en los que se describen las actuaciones.

	Ecoductos (7.2.1)	Pasos superiores de fauna (7.2.1)	Pasos superiores multifuncionales (7.2.2)	Pasos entre árboles (7.2.3)	Viaductos (7.3.1)	Pasos inferiores para mamíferos de mediano y gran tamaño (7.3.2)	Pasos inferiores multifuncionales (7.3.3)	Pasos inferiores para pequeños vertebrados (7.3.4)	Drenajes adaptados para animales terrestres (7.3.5)	Drenajes adaptados para peces (7.3.6)	Pasos de anfibios (7.3.7)
Ungulados											
Alce	●	●	—	—	●	○	—	—	—	—	—
Otros cérvidos y bovidos	●	●	○	—	●	●	○	—	—	—	—
Jaballí	●	●	○	—	●	●	○	—	—	—	—
Carnívoros											
Oso pardo	●	●	○	—	●	○	—	—	—	—	—
Lince	●	●	○	—	●	●	—	—	—	—	—
Lobo	●	●	○	—	●	●	—	—	—	—	—
Zorro	●	●	○	—	●	●	—	—	○	—	—
Tejón	●	●	○	—	●	●	—	—	○	—	—
Nutria	○	○	○	—	●	●	—	—	○	—	—
María y garduña	●	●	○	—	●	●	—	—	○	—	—
Turón y comadreja	●	●	○	?	●	●	—	—	○	—	—
Gineza	●	●	○	—	●	●	—	—	○	—	—
Lagomorfos											
Liebres	●	●	○	—	●	●	—	—	—	—	—
Conejo	●	●	○	—	●	●	—	—	—	—	—
Insectívoros											
Erizos	●	●	○	—	●	●	—	—	—	—	—
Musarañas	●	●	○	—	●	●	—	—	○	—	○
Roedores											
Ardilla	●	●	○	●	●	●	—	—	—	—	—
Lirones	●	○	○	?	○	—	—	—	—	—	—
Ratonés y topillos	●	●	○	—	●	●	—	—	○	—	○
Castor	—	—	—	—	●	—	?	—	?	—	—
Reptiles											
Serpientes	●	●	○	—	●	○	—	—	?	—	—
Lagartos	●	●	○	—	●	○	—	—	—	—	—
Tortugas	●	●	○	—	●	?	—	—	—	—	—
Anfibios	●	○	○	—	●	●	—	—	○	—	●
Peces	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●	—
Invertebrados terrestres											
Especies de hábitats secos	●	●	○	—	●	○	—	—	—	—	—
Especies de hábitats húmedos	○	○	○	—	●	○	—	—	○	—	○

● solución óptima ○ se puede utilizar adaptada a las condiciones locales ? desconocida, se necesita más información — no aplicable

Ejemplo: Recomendaciones sobre la densidad de los pasos de fauna para mamíferos en la República Checa

El entorno natural de muchas regiones de la República Checa está poco fragmentado por las infraestructuras de transporte, y conserva mosaicos de zonas agrícolas y forestales que sirven de hábitat para muchas especies de mamíferos. En los próximos años se ampliará la red de autopistas, y para poder conseguir que los hábitats de las principales especies de mamíferos se mantengan conectados, se han emprendido las siguientes acciones:

1. Cartografía de la distribución potencial y actual de los corredores de desplazamiento de los mamíferos de tamaño grande y medio.
2. A partir de estos datos, clasificación de la importancia de distintas regiones para los mamíferos (véase figura 7.7).
3. Investigación del uso de tipos distintos de pasos y del comportamiento de los mamíferos en la proximidad de las autopistas existentes.
4. En función de estos resultados, formulación de las recomendaciones sobre la densidad de los pasos (véase tabla 7.2).

Tabla 7.2 - Máximas distancias recomendadas entre pasos para diferentes especies de mamíferos en zonas de distinta importancia de la República Checa

Cat	Área	Ciervo	Corzo	Zorro
I	Importancia excepcional	3-5 km	1,5-2,5 km	1 km
II	Importancia alta	5-8 km	2-4 km	1 km
III	Importancia media	8-15 km	3-5 km	1 km
IV	Importancia baja	No necesario	5 km	1 km
V	Sin importancia	No necesario	No necesario	1-3 km

(Fuente: Hlaváč y Andel, 2002)

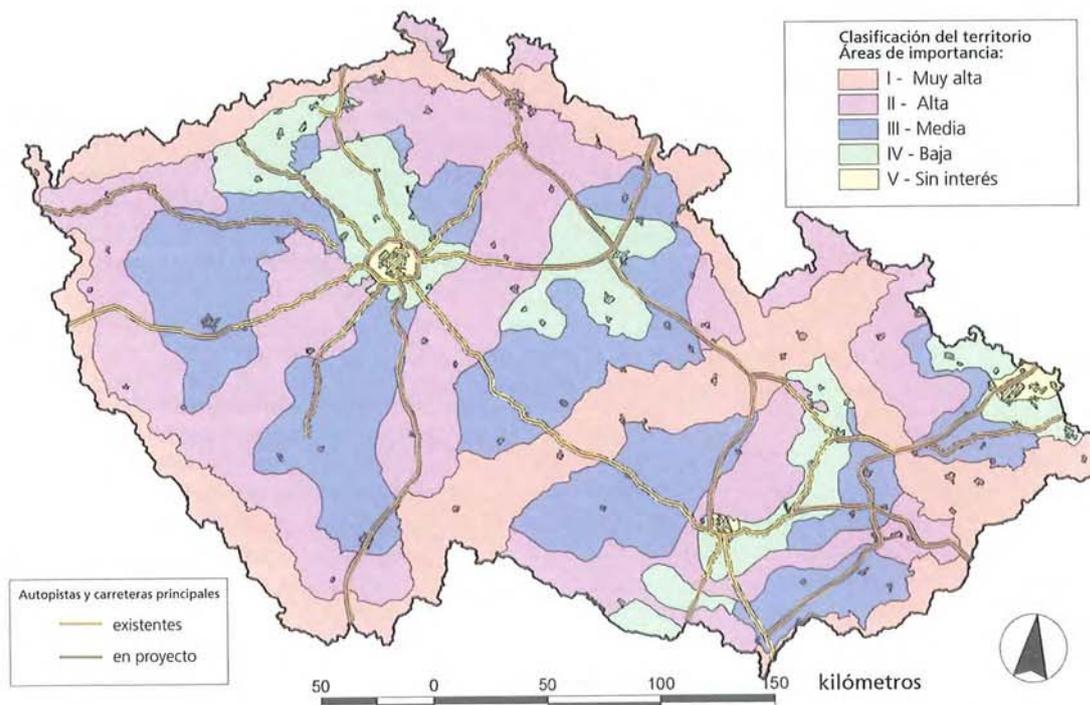


Figura 7.7 – Categorización del territorio de la República checa según su importancia para los mamíferos

Ubicación de los pasos

La ubicación de los pasos debe definirse en función de los datos disponibles sobre los movimientos de los animales y la distribución de sus hábitats. Cuando existan indicios de la existencia de rutas de desplazamiento habitual de una determinada especie, los pasos hay que colocarlos tan cerca de ellas como sea posible. La estructura topográfica y del entorno natural puede contribuir a identificar las rutas de migración posibles (Figura 7.8). Hay que tener en cuenta que:

- Los valles y cursos fluviales canalizan los desplazamientos de muchas especies.
- La continuidad de bosques y matorrales a ambos lados de la vía condiciona rutas de paso habitual de animales.
- Cuando el objetivo de una estructura sea conectar tipos específicos de hábitat, el paso debe situarse en los puntos que faciliten una mayor superficie de conexión entre estos hábitats.
- Deben evitarse ubicaciones que puedan resultar afectadas por otras barreras existentes en el entorno natural.
- Debe garantizarse que el paso se mantenga funcional a largo plazo integrándolo en la planificación urbanística de su entorno.

La ubicación de los pasos de fauna debe garantizar, en primer lugar, que se aportan conexiones en todos los puntos conflictivos conocidos (véase Capítulo 5). Si se comprueba que la densidad de pasos es muy baja para conseguir el nivel de permeabilidad necesario en la infraestructura en una región concreta, se deben identificar otros puntos donde se puedan construir estructuras adicionales, por ejemplo acondicionando drenajes o pasos destinados a otros usos (vías pecuarias, caminos, etc.).

Integración en el entorno

Los pasos de fauna deben estar bien conectados con su entorno, ya sea a través de plantaciones que dirijan a los pequeños animales a los pasos, o mediante corredores de hábitat adecuado para los animales más grandes (Figura 7.9). La probabilidad de que un animal encuentre un paso de fauna mejora si se instalan vallados perimetrales adecuados y se realizan plantaciones que los dirijan hacia él. Será fundamental también, eliminar las barreras que impidan o dificulten el acceso de los animales a esos pasos. Por ello, cuando existan otras infraestructuras de transporte en los alrededores, será necesario elaborar un planteamiento integrado de desfragmentación.

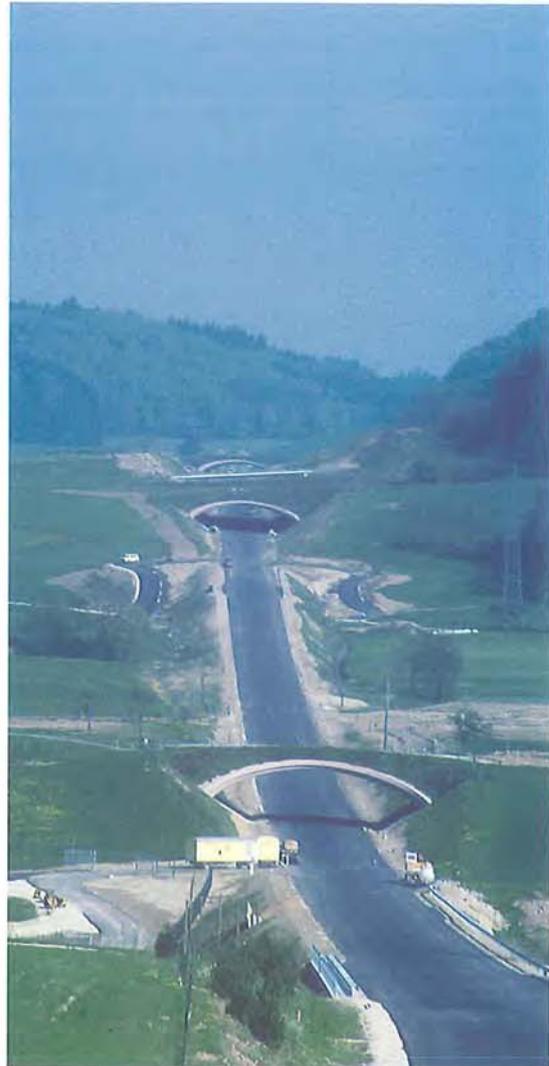


Figura 7.8 – La autopista de tres carriles B31neu en el sureste de Alemania, cruza una zona que discurre por los alrededores del Lago Constance. En este tramo se han construido un gran número de pasos para evitar el aislamiento de los hábitats, que incluyen pasos superiores específicos para la fauna, así como la adaptación de estructuras de restitución de pistas forestales. (Foto de V. Keller)

7.1.6 Adaptación de las estructuras para la fauna

Las obras de ingeniería transversales a las vías de transporte se diseñan y construyen para canalizar distintos tipos de flujos. La mayor parte se utiliza para el paso de tráfico (por ejemplo, una carretera que cruce otra por un paso superior), de agua (por ejemplo, un drenaje) o de ganado (paso de una vía pecuaria), pero actualmente, también se intenta que algunas de estas estructuras tengan función de paso para la fauna (Figura 7.8). Los puentes por los que pasan carreteras o los drenajes de pequeñas dimensiones son poco

utilizados por los animales, porque no cumplen los requisitos de las especies más exigentes. Sin embargo, incluso estas estructuras se pueden adaptar para que sirvan de pasos de fauna para animales de pequeño tamaño y menores requerimientos. Estos pasos que combinan distintos usos, se denominan pasos de uso mixto o multifuncionales.

En el caso de los viaductos y falsos túneles, se requerirán pocas adaptaciones para que se puedan utilizar como pasos de fauna. En lugares de importancia para la fauna, los pasos superiores e inferiores de uso mixto, no son la mejor alternativa, aunque pueden contribuir a aumentar la permeabilidad de la infraestructura con un bajo coste adicional.

Las directrices existentes para el diseño de las estructuras transversales a carreteras y ferrocarriles, se centran, principalmente, en la capacidad hidráulica de la estructura, la seguridad vial, la resistencia y otros aspectos. En muchos casos, se pueden establecer

disposiciones adicionales para facilitar el paso de fauna en dichas estructuras sin comprometer los aspectos de seguridad; por ejemplo, evitar el uso de acero corrugado para la construcción de drenajes puede favorecer que estos sean utilizados como pasos de fauna. El proyecto de adaptación de estas estructuras requiere del trabajo conjunto de ingenieros y expertos en ecología.

La integración de las necesidades de la fauna y flora silvestres en la fase de planificación de la infraestructura es la forma mejor y más sencilla de conseguir soluciones de bajo coste económico. Sin embargo, es posible que en muchos casos se puedan aplicar determinadas modificaciones incluso cuando la vía ya está en funcionamiento (véase apartado 7.1.7).

Muchos principios básicos de diseño de pasos específicos para la fauna también son aplicables a los pasos de uso mixto. Sin embargo, hay que tener en cuenta algunas consideraciones generales para mejorar

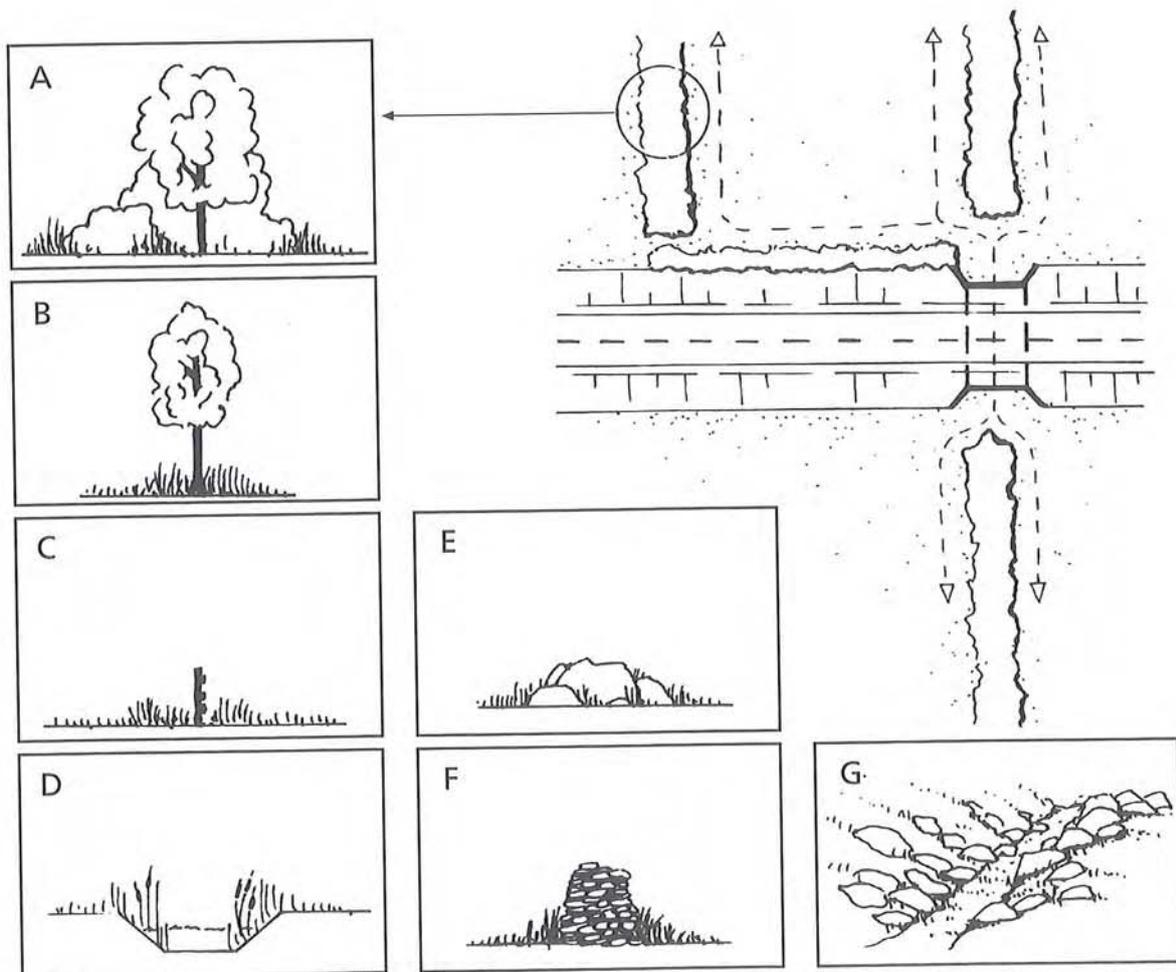


Figura 7.9 – La aceptación de los pasos por parte de los animales vendrá condicionada por la existencia en sus accesos de elementos que los dirijan hacia ellos. Las estructuras lineales que proporcionen refugios, incluidos pequeños muros, setos, etc. pueden servir como elementos de conducción al paso. Entre las estructuras de este tipo cabe citar: A, setos; B, hileras de árboles; C, cercas; D, zanjas; E, montones de piedras; F, muros de piedra; G, pequeños arroyos. (A partir de Oord 1995).

el uso conjunto por parte de personas, vehículos y fauna silvestre:

- Será necesario conocer los requerimientos ecológicos y de ingeniería, así como identificar los posibles conflictos entre ambos.
- Las grandes dimensiones facilitan el uso mixto.
- En la medida de lo posible, el flujo de peatones o tráfico, y el de animales silvestres deben estar separados sobre la superficie de un paso multifuncional.
- La construcción de refugios para animales en la estructura contribuye a reducir las molestias y fomentar el uso de la misma por parte de la fauna.
- La disminución del volumen de tráfico de forma permanente o a determinadas horas (por ejemplo durante la noche) puede aumentar el uso de la estructura por parte de la fauna.

7.1.7 Resolución de los problemas en las carreteras y ferrocarriles en funcionamiento

En Europa se han construido miles de kilómetros de autopistas, carreteras y vías férreas antes de llegar a conocer los problemas que causan a la fauna y flora silvestres. Uno de los principales factores de sensibilización respecto a la necesidad de adaptar las estructuras existentes al paso de fauna surge cuando aparecen puntos en los que se produce un elevado número de colisiones entre vehículos y animales (véase apartado 5.5). Los riesgos para la seguridad viaria, los altos niveles de mortalidad animal o la necesidad de recuperar los corredores de desplazamiento pueden requerir la aplicación de medidas de permeabilización, aunque la carretera o vía férrea ya esté en funcionamiento.

Cuando se planifican medidas de adaptación para permeabilizar las infraestructuras existentes (actuaciones de desfragmentación) hay que tener en cuenta los principios generales de permeabilización de vías. En el caso, por ejemplo, de que se requiera instalar vallados para reducir el número de colisiones entre vehículos y animales, debe tenerse en cuenta que con ello se incrementará el efecto barrera y, por ello, será necesario adoptar medidas adicionales que faciliten el paso de fauna por determinados puntos. La mayoría de las medidas descritas en este capítulo también se pueden aplicar a las infraestructuras en funcionamiento o se pueden adaptar convenientemente.

Los principios que deben regir la permeabilización de las infraestructuras existentes al paso de fauna se pueden resumir de la forma siguiente:

- La construcción de nuevas estructuras de paso de fauna en vías en funcionamiento es con frecuencia una opción de alto coste.
- La adaptación de las obras existentes que fueron diseñadas para otros fines (por ejemplo drenajes, pasos de vías pecuarias, etc.) no es muchas veces la mejor solución, pero en general es la de menor coste. En algunos casos, un gran número de pasos adaptados puede ofrecer mejores resultados que construir un nuevo paso específico con el mismo coste.
- La modificación de los procedimientos de mantenimiento (por ejemplo gestión de la vegetación) puede favorecer el uso de estructuras ya existentes por parte de la fauna y reducir la mortalidad causada por la vía.

7.1.8 Mantenimiento y supervisión de las medidas de mitigación

Todas las medidas de mitigación requieren controles y mantenimiento periódico para asegurar su funcionalidad a largo plazo. Ya desde el inicio, en la fase de diseño de la medida, hay que tener en cuenta todos los aspectos relacionados con su mantenimiento, incluidos sus costes. Durante la fase de proyecto se debe definir el programa de mantenimiento, así como su organización y el organismo responsable de llevarlo a cabo. En la mayor parte de los casos, las labores de mantenimiento de las medidas de permeabilización las realizan los mismos equipos que se encargan del mantenimiento general de la infraestructura, pero una buena alternativa para algunos tipos de medidas es encargar los trabajos a organizaciones conservacionistas, agricultores, etc. Los aspectos específicos de mantenimiento que requiere cada tipo de medidas se abordan en los apartados en los que se detallan las características de estas.

Las labores de mantenimiento y de seguimiento de la efectividad de las medidas están estrechamente relacionadas. Los procedimientos de control se han diseñado principalmente para comprobar si una medida cumple su objetivo, pero al mismo tiempo para identificar sus carencias y posibilidades de mejora. La labor de control y evaluación de la efectividad requiere la definición clara de los objetivos que se pretenden conseguir con las medidas, y los programas de seguimiento se deben planificar de forma paralela a su diseño (véase Capítulo 9).

7.2 Reducción del efecto barrera: pasos superiores

Los pasos superiores de fauna y los ecoductos son estructuras específicamente construidas para permitir el desplazamiento de fauna por encima de las vías. En general, con la denominación de ecoductos (también denominados *puentes paisajísticos o landscape bridges*) nos referimos a estructuras diseñadas para conectar hábitats, y con la denominación de pasos de fauna superiores nos referimos a las estructuras de conexión pensadas para unir poblaciones y metapoblaciones. Aunque existe una relación de continuidad entre estos dos extremos, la terminología sirve para diferenciar entre dos niveles bien distintos de permeabilización.

El criterio principal en el que se basa la diferenciación entre los dos tipos de pasos superiores es su anchura. Cuanto más grande sea el paso superior, más funciones puede desarrollar, y más podrá acercarse al concepto de ecoducto. Como se verá a continuación, la distinción entre los dos tipos de estructura se ha establecido a partir de una determinada anchura (80 m). Cuando se proyecten estos pasos, las desviaciones respecto a las dimensiones recomendadas deben estar adecuadamente justificadas, ya que la reducción de la anchura puede comportar una disminución de la efectividad de la medida.

Los pasos superiores se pueden diseñar con distintas tipologías de construcción, por ejemplo en forma de falsos túneles, o adaptando las tipologías estándar de pasos superiores utilizadas para otros usos. Los túneles perforados cumplen muchas veces la misma función que los ecoductos: evitan la fragmentación conservando intacto el hábitat natural. No obstante, en este capítulo no se hace mención específica a estos túneles, ya que no requieren actuaciones específicas para facilitar el paso de fauna a través de ellos (véase apartado 6.4.1).

7.2.1 Ecoductos y pasos superiores de fauna

Descripción general y objetivos

Los pasos superiores de fauna y los ecoductos son grandes estructuras que normalmente se construyen sobre vías de alta capacidad (autopistas y autovías) y trenes de alta velocidad. Aunque tienen un alto coste económico, son muy efectivos para reducir al mínimo, al menos localmente, el efecto barrera provocado por la infraestructura de transporte.

Las dimensiones, la tipología constructiva y la revegetación del paso y sus accesos deben diseñarse en función de las especies de referencia, que en general son ungulados y grandes carnívoros, aunque otros

mamíferos de menores dimensiones, así como pequeños vertebrados e invertebrados, también pueden utilizarlos. Para los animales pequeños, el paso debe tener un adecuado diseño de su superficie para que sirva de corredor de conexión de hábitat. Para los grandes mamíferos, en cambio, la anchura y la ubicación de un paso superior son más importantes que el diseño y las características de su sustrato y vegetación. También se ha demostrado que los pasos superiores pueden servir de guía para el vuelo de algunas aves, murciélagos y mariposas, facilitando el desplazamiento de los animales voladores que se muestran reacios a cruzar superficies abiertas, y reduciéndose también su mortalidad.

Sin embargo, este tipo de estructuras tan costosas no deberían diseñarse para ser utilizados por unas pocas especies. En la mayor parte de los casos el objetivo debe ser conectar los hábitats de ambos lados de la infraestructura para facilitar el paso del más amplio número posible de especies. Para ello se requiere simular estos hábitats en el paso superior, teniendo en cuenta factores ambientales como pueda ser el tipo de terreno, la humedad, la temperatura y la luz, de manera que pueda ser revegetado con una composición de especies similar a los hábitats del entorno.

Ubicación

La ubicación de los pasos elevados se debe definir teniendo en cuenta el comportamiento de las especies de referencia (véase también 7.1.5).

- Para los grandes mamíferos, los pasos superiores deben situarse en zonas coincidentes con sus rutas de desplazamiento habitual. Los trayectos de estos animales se pueden identificar mediante el registro de sus rastros, realizando censos nocturnos con la ayuda de focos, censos de animales atropellados en las carreteras existentes en la zona de proyecto, o consultas a los habitantes de la zona con un cuestionario específico.
- En las zonas en las que existan perturbaciones derivadas de las actividades humanas no deben ubicarse pasos específicos para la fauna.
- Los tramos que discurren entre grandes desniveles no son adecuados para ubicar estos pasos.
- La ubicación debe definirse considerando la permeabilidad global de la vía, y la situación del resto de posibles puntos de cruce de los distintos grupos de animales.
- Cuando las especies de referencia dependan de un tipo específico de hábitat, es necesario que este se restituya en la superficie del paso y se conecte adecuadamente con los hábitats del entorno.

Dimensiones

La anchura de un paso superior se establece en este manual, desde la perspectiva de la fauna que usará la estructura, aunque los proyectistas y constructores denominan longitud a esta dimensión, referida al tramo de la carretera o línea de ferrocarril cubierta por el paso superior (Figura 7.10).

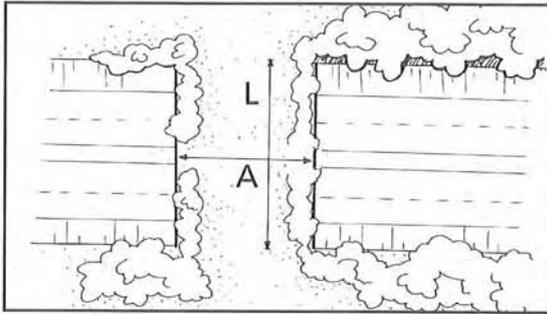


Figura 7.10 – Terminología utilizada para definir la longitud (L) y la anchura (A) de un paso superior. En este manual la longitud y la anchura se definen desde el punto de vista de los animales que utilicen el paso.

Recomendaciones generales respecto a dimensiones:

a) Ecoductos

Se recomienda que los ecoductos tengan una anchura mínima de 80 m. Con ello se permite el establecimiento de distintos hábitats en la superficie de la estructura, de manera que se pueda conseguir una continuidad de los sistemas naturales de ambos lados de la vía (Figura 7.11). No obstante, la anchura óptima vendrá determinada por la diversidad y la importancia que tenga la conservación de los hábitats que se conecten. En zonas prioritarias para la conservación de determinadas especies o hábitats, el ecoducto puede tener incluso varios centenares de metros de ancho, garantizando así la conservación de la conectividad de un espacio natural.

b) Pasos superiores para la fauna

- En general, los grandes mamíferos requieren pasos superiores más anchos que el resto de vertebrados. Por otra parte, los pequeños vertebrados e invertebrados dependen más de las características particulares del hábitat, que solo puede restituirse en pasos relativamente anchos.
- Se recomienda un ancho estándar de 40-50 m, aunque puede reducirse hasta un mínimo de 20 m, si lo que se pretende es solo facilitar un corredor de desplazamiento para especies no particularmente amenazadas como el ciervo, el corzo o el jabalí, y cuando la topografía facilite que los animales localicen fácilmente los accesos al paso.

- No es recomendable que el paso superior tenga una anchura inferior a 20 m. La experiencia con grandes mamíferos ha demostrado que algunas especies en situaciones locales pueden usar pasos superiores más estrechos, pero que la frecuencia con que los utilizan es menor que la de los pasos más anchos. También hay poca información sobre la reacción de los animales menos habituados, por ejemplo los jóvenes durante la época de dispersión, ante estos pasos más estrechos. En algunos casos, se puede facilitar el uso con pasos de forma diábolo (Figura 7.16) con un ancho mínimo inferior a los 20 m, pero con accesos en forma de embudo de ancho superior a 40 m.
- La anchura requerida aumenta con la longitud del paso superior. Es obvio que un paso superior por encima de una autopista de seis carriles tiene que ser más ancho que el de uno situado sobre una línea de alta velocidad, con una plataforma mucho más reducida. La proporción ancho:longitud debe ser superior a 0,8.

Vegetación

- La vegetación de la superficie del ecoducto debe ser similar a la de los hábitats situados a ambos lados de la infraestructura (Figura 7.11).
- En las revegetaciones sólo se deben utilizar plantas autóctonas de la zona.
- La siembra de semillas recolectadas en las zonas adyacentes al ecoducto es una alternativa mejor que el uso de semillas procedentes de centros de producción de planta. Los arbustos o árboles también pueden transplantarse desde los hábitats del entorno de la estructura.
- Aunque con frecuencia son necesarias siegas periódicas, en algunas ocasiones da buenos resultados dejar crecer de forma espontánea la vegetación herbácea (Figura 7.12).
- La principal finalidad de la vegetación en los accesos es dirigir a las especies de referencia y a otros animales hacia el paso.
- La plantación en los accesos de la estructura de arbustos en hileras formando setos, puede ser útil para orientar a los animales (especialmente a los mamíferos) y ofrecerles refugio y protección frente a la luz y el ruido de la carretera (Figura 7.13).
- Para favorecer el paso de invertebrados y pequeños vertebrados, es importante que la vegetación en los accesos sea lo más parecida posible a la adyacente al paso, formando un corredor de conexión del hábitat.

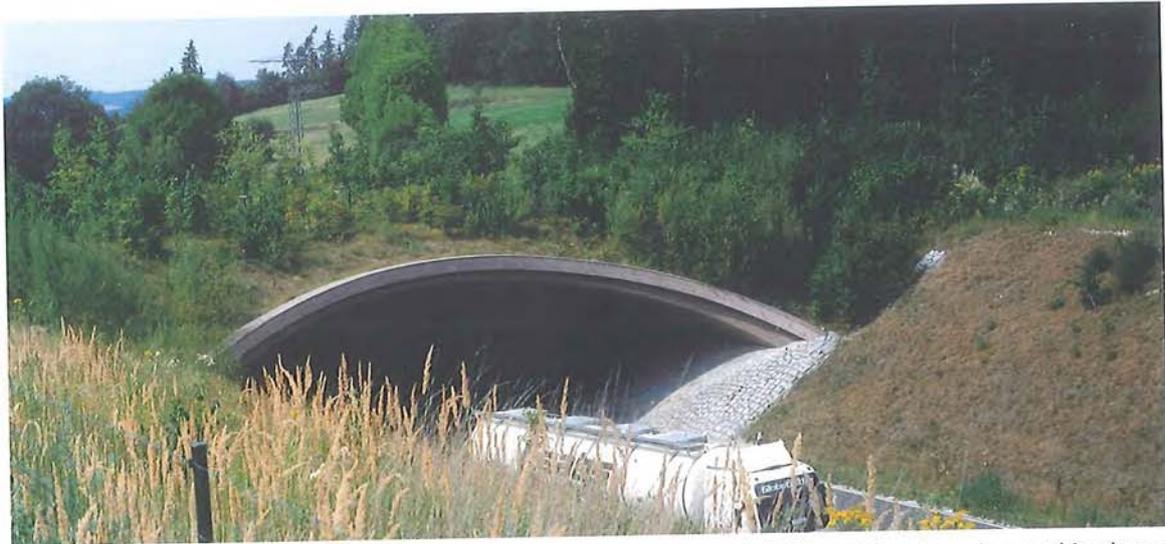


Figura 7.11 – El paso superior de Schwarzgraben en el sureste de Alemania (B31neu, 50 m de ancho, combinado con una carretera local) está densamente cubierto de arbustos y árboles de pequeño porte. Su objetivo es conectar los bosques adyacentes. (Foto de V. Keller)

- Se pueden utilizar plantas que faciliten alimento, para atraer a animales herbívoros y frugívoros hacia el paso.
- Las raíces de los árboles pueden causar problemas de mantenimiento del paso superior y, por ello, es fundamental elegir las especies más adecuadas para reducir este efecto.

Capa de suelo

- El suelo es un requisito indispensable para que crezca la vegetación y el grosor de la capa depende de los tipos de hábitat. Los grosores recomendados son:
 - Plantación de herbáceas: 0,3 m
 - Plantación de arbustos: 0,6 m
 - Plantación de árboles: 1,5 m
- Se puede utilizar la capa superior del suelo extraída de algún punto de los alrededores de la estructura, o bien, preparar mezclas especiales con sustratos óptimos para el desarrollo de las plantaciones.
- Dependiendo del tipo de vegetación que se desee que crezca en distintos sectores del ecoducto, la profundidad del suelo puede variar, creando una variedad de microrelieves.



Figura 7.12 – En el ecoducto del espacio natural de Weiherholz en Alemania (B31neu, 80 m de ancho) solo se plantaron arbustos. Además se permitió el crecimiento espontáneo de plantas herbáceas y gramíneas que posteriormente se controló mediante siega. (Foto de V. Keller)

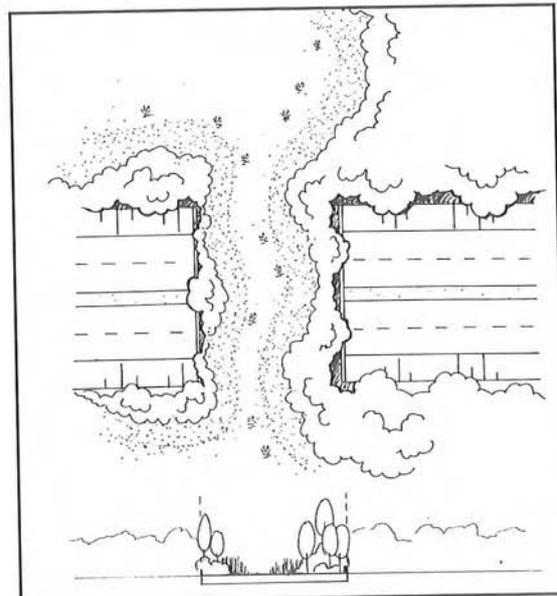


Figura 7.13 – Distintos tipos de hábitat, utilizados por diferentes grupos de especies, se conectan desde ambos lados de la infraestructura a través del ecoducto (a partir de Oord 1995).

Pantallas de protección

Las pantallas tienen como objetivo reducir las molestias a los animales causadas por las luces o el ruido generado por el tráfico. Las pantallas artificiales se usan preferentemente en los pasos superiores relativamente estrechos, mientras que en los de más de 50 m, es más recomendable la plantación de setos a cada lado de la estructura, preferiblemente creando pequeños grupos de mayor densidad en algunas zonas.

- La altura mínima recomendable para pantallas laterales es de 2 m. Si la vegetación alcanza esta altura, no es necesario colocar vallas opacas adicionales en el perímetro del paso.
- En pasos superiores de menos de 20 m de ancho (recomendados solo en situaciones especiales, véase apartado sobre dimensiones) hay que evitar la instalación de pantallas de protección muy altas, ya que pueden crear un efecto túnel que no favorece el paso de los animales.
- Las pantallas de protección deben colocarse en los bordes externos de la construcción para conseguir una anchura máxima disponible para el uso de los animales (Figura 7.14).
- Las placas que con frecuencia se ensamblan para la instalación de pantallas deben estar bien conectadas para que protejan del ruido que produce el tráfico y eviten la visión de las luces de los vehículos.
- Las motas de tierra situadas en el perímetro del ecoducto también pueden ejercer función de apantallamiento. Esta es la mejor solución en pasos superiores anchos y ecoductos situados en espacios naturales, ya que se evita la instalación

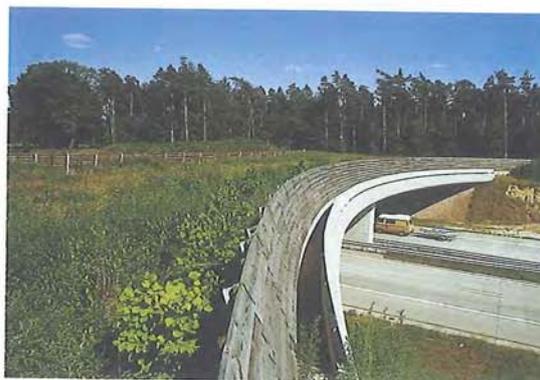


Figura 7.14 – En este ecoducto de Boerskotten (Países Bajos) se muestra una pantalla hecha de madera. Las pantallas tienen que estar tan cerca de los extremos del puente como sea posible, para dejar libre la máxima anchura posible. La barandilla paralela a la pantalla se ha diseñado para poder realizar de forma segura las labores de mantenimiento. (Foto de H. Cormont)

de elementos artificiales reduciendo a la vez, los requerimientos de mantenimiento.

- Los setos densos que se utilizan como pantallas de protección también pueden plantarse sobre motas para mejorar su efecto de protección frente al ruido y las luces de los vehículos.

Vallados

Las vallas son necesarias en los accesos del paso para guiar a los animales hacia él. Su diseño y especificaciones se incluyen en el apartado 7.4.1. No obstante, en este apartado se destacan los aspectos más relevantes en relación a los pasos superiores.

- Los vallados son un elemento esencial en los bordes externos del paso, si no se han colocado pantallas de protección.

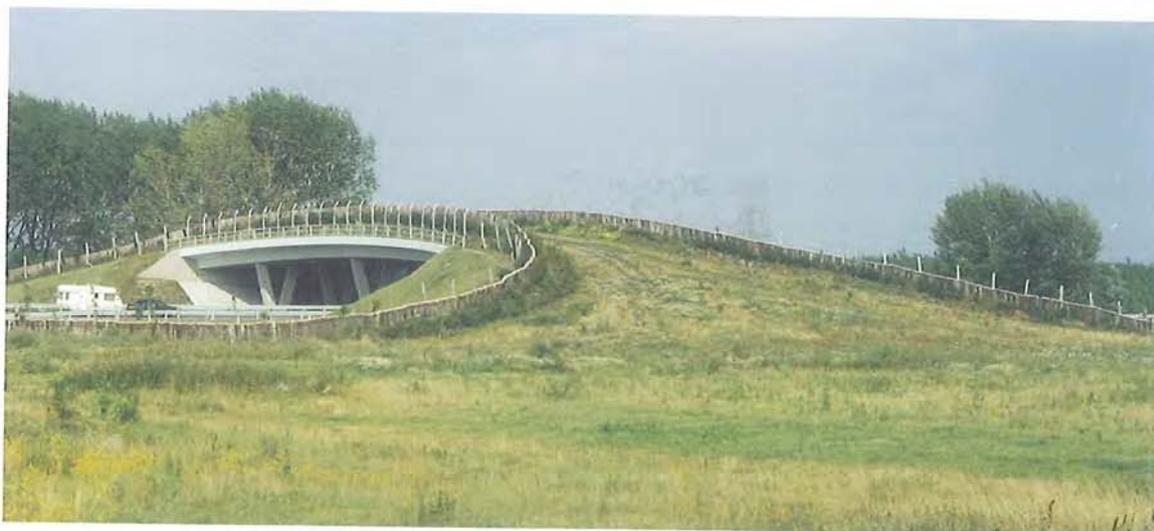


Figura 7.15 – En este paso superior construido en Hungría, la autovía discurre por un terreno llano y por ello se construyeron rampas de acceso para conectar el paso elevado con los alrededores. Las vallas guían a los animales desde los márgenes de la carretera hasta la entrada del paso. (Foto de P. Farkas)

- Las vallas (o las pantallas) instaladas en los laterales del paso deben estar adecuadamente conectadas con la valla perimetral de la infraestructura, para facilitar que los animales que se desplazan en paralelo a ella, siguiendo el vallado, puedan localizar el acceso al paso superior (Figura 7.15).

Diseño

Hay una amplia variedad de tipologías constructivas aplicables a la construcción de pasos superiores y ecoductos (Figuras 7.16 a 7.25). La elección del diseño más adecuado debe realizarse en función de la topografía, estabilidad del terreno, coste, estética y de los diseños que se utilicen en cada zona. En este manual se presentan sólo algunos ejemplos para facilitar ideas a los proyectistas, sin aportar detalles técnicos sobre cada uno de ellos.

Principios que deben regir su construcción:

- Cuando la infraestructura se construye en un tramo en desmante, el paso superior se puede construir al mismo nivel del terreno adyacente.
- Cuando el nivel del paso superior esté situado por encima del terreno adyacente, las rampas de acceso deben tener poca pendiente y estar bien integradas en su entorno (Figura 7.15). No se dispone de experiencias concluyentes respecto a las pendientes más adecuadas para facilitar el acceso de distintas especies. En zonas montañosas es habitual que se requieran pendientes más pronunciadas que en zonas más llanas. Algunos de los pasos existentes que están siendo utilizados por ungulados y mamíferos tienen pendientes del 16% en terrenos llanos (Hungría) y de hasta el 25% en zonas de montaña.
- Los materiales que se utilicen para construir el paso y la forma que tenga el mismo, deben reproducir las características del suelo y la vegetación del terreno adyacente, consiguiendo así una mejor integración en su entorno.
- En carreteras en funcionamiento, el uso de estructuras prefabricadas reduce los tiempos y costes de construcción.

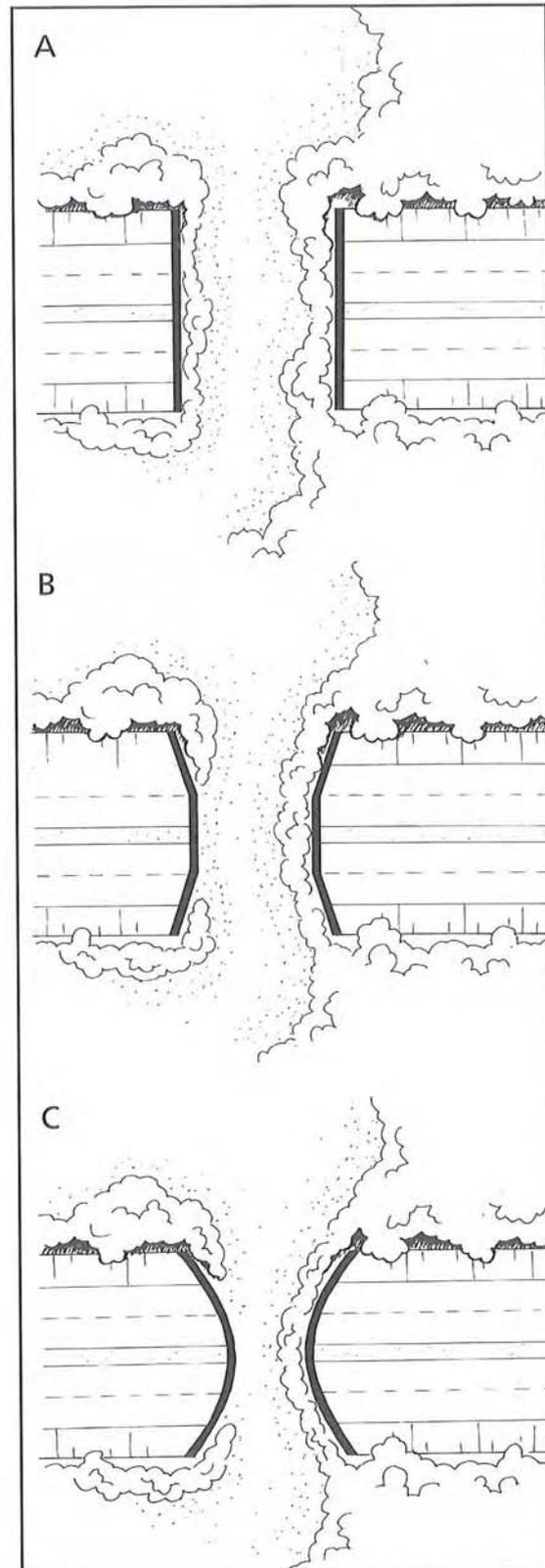


Figura 7.16 – Distintas formas de pasos elevados. El diseño parabólico o en forma de embudo (B, C) es el elegido para reducir costes, que aumentan proporcionalmente a la superficie de la estructura. La construcción de forma parabólica o diábolo (C) tiene mayor coste que una en forma de embudo con líneas rectas (B).



Figura 7.17 – La vista lateral del ecoducto Terlet al norte de Arnhem (Países Bajos) muestra una construcción de hormigón recta sobre pilares. La rasante de la carretera se ha bajado para que los accesos del paso estén situados al nivel del terreno adyacente. (Foto de V. Keller)



Figura 7.18 – El paso superior de fauna Harm van der Veen (Kootwijk, Países Bajos) se construyó en 1998 cubriendo dos partes separadas de la autopista A1. Fue un acontecimiento importante, porque supuso el primer paso elevado que se construyó en los Países Bajos sobre una autopista ya construida. (Foto de H. Bekker)



Figura 7.19 – Este paso superior de fauna en el parque nacional de Banff en la autopista Transcanadiense se construyó con componentes prefabricados sobre una carretera ya construida. (Foto de H. Bekker)



Figura 7.20 – La forma del ecoducto de 80 m situado en el espacio natural de Hirschweg (B31neu, sureste de Alemania) aprovecha el desnivel de la montaña y dirige a los animales hacia el paso, que se ha colocado en un tramo en el que la vía discurre entre desmontes. La fotografía se tomó antes de la plantación de los arbustos que constituyen la pantalla de protección. El ecoducto empezó a ser intensamente utilizado por mamíferos en cuanto se cubrió con tierra. (Foto de V. Keller)



Figura 7.21 – Paso superior de fauna en la República Checa construido con dos bóvedas prefabricadas de hormigón. (Foto de H. Bekker)



Figura 7.22 – Para el paso superior de Schindellegi en Suiza, de 40 m de ancho, se utilizaron componentes de acero corrugado. La estructura se construyó durante las obras de ampliación de la carretera, permitiendo el flujo del tráfico por un carril durante toda la fase de construcción. (Foto de O. Holzgang)



Figura 7.23 – Paso superior de fauna al este de Viena (Austria), uno de los cinco que cruzan la A4. (Foto de H. Bekker)



Figura 7.24 – Esta foto muestra el mismo paso elevado de Schindellegi que se muestra en la figura 7.22 una vez finalizada su construcción. La pendiente en los accesos es muy pronunciada; no obstante, los ciervos y otros animales lo usan con frecuencia, probablemente porque está situado en una zona montañosa. (Foto de V. Hlaváč)



Figura 7.25 – Paso superior de fauna, de 44 m de ancho, que cruza una línea férrea de alta velocidad en Noruega y permite mantener una importante ruta de migración de alces. (Foto de L. Kastdalen)

Nuevas alternativas de diseño

Aunque los costes de los grandes pasos superiores suponen solo una pequeña parte del coste global de una infraestructura, constituyen algunas de las medidas más caras entre las que se aplican para prevenir impactos ambientales. La construcción de nuevos pasos mediante técnicas innovadoras puede contribuir a reducir sus costes además de trabajar con materiales más resistentes o más fáciles de reciclar cuando acaben su vida útil, como la madera (Figuras 7.26 y 7.27).



Figura 7.26 – Hasta ahora, raramente se ha utilizado la madera para la construcción de pasos superiores. Este fotomontaje de un proyecto suizo muestra el aspecto que podría tener una moderna construcción de un paso superior de madera. (Ilustración de Marbach & Marbach, Eich, Copyright Swiss Ornithological Institute)



Figura 7.27 – Diseños e ideas elaboradas por los estudiantes del Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Técnica de Delft (Países Bajos). (Foto de K. Saathof)

Puntos de especial atención

- Los pasos superiores están pensados para que sean funcionales durante largos períodos de tiempo, en ocasiones superiores a 50 años. Un aspecto fundamental para garantizar su efectividad es que sus accesos mantengan condiciones adecuadas para que la fauna pueda desplazarse libremente hasta localizar las entradas del paso, durante toda la vida útil de la estructura. Por ello, la planificación urbanística, a escala local o regional, debe tener en consideración la existencia de ecoductos o pasos específicos para la fauna, y establecer las regulaciones necesarias para garantizar que no se desarrollen en sus alrededores zonas urbanizadas, equipamientos o infraestructuras que sean incompatibles con el paso de fauna.
- Es recomendable prohibir las actividades cinegéticas en el paso de fauna y en sus alrededores, para garantizar la tranquilidad de los animales y facilitar su acercamiento al paso. No se dispone de experiencias de seguimiento que establezcan cual es la distancia más adecuada para aplicar esta restricción, que además, deberá definirse en función de las situaciones concretas de cada caso, como el tipo de hábitat, el grado de amenaza de las especies implicadas, las prácticas cinegéticas, etc. En algunas zonas será suficiente con evitar la caza en un radio de unos 500 m de distancia del paso, mientras que en otras son recomendables distancias mucho mayores, llegando a alcanzar los 2 km.
- Los ecoductos y pasos superiores específicos para la fauna son, por norma general, los más indicados para conservar los corredores por los que discurren los desplazamientos diarios o las migraciones estacionales de grandes mamíferos.
- La combinación del paso de fauna con otros usos, tales como paso de peatones o de vehículos, debe diseñarse con sumo cuidado para evitar que se reduzca su efectividad (véase apartado 7.2.2).
- Cuando se prevé el paso de peatones, es recomendable construir una senda estrecha pero muy bien definida, que concentre los desplazamientos de las personas y evite que todo el paso superior resulte perturbado por la frecuentación humana.
- La disponibilidad de zonas de refugio para la fauna en la superficie del paso y sus accesos, facilitan su uso por parte de una amplia variedad de especies. Si se prevé que la vegetación tarde en alcanzar un desarrollo adecuado, se pueden facilitar refugios colocando tocones de árboles, ramas secas o piedras.



Figura 7.28 – Rocas colocadas en el acceso de un paso superior en la autopista 64 en Francia para impedir el paso de vehículos. (Foto de H. Bekker)

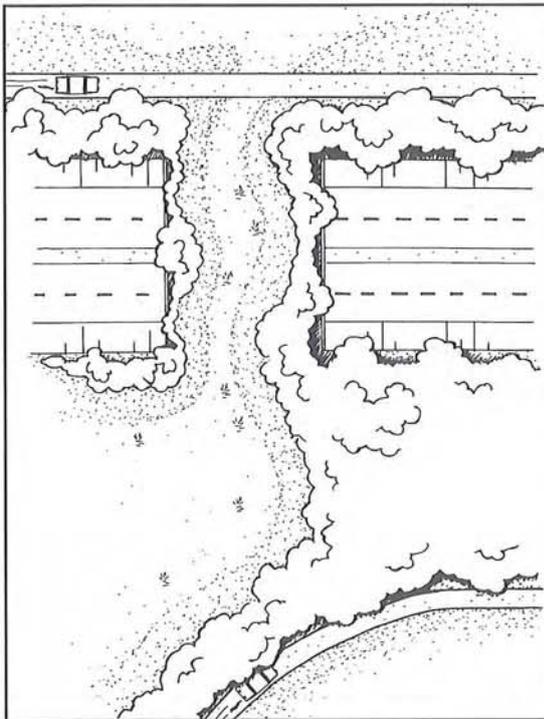


Figura 7.29 – Las carreteras paralelas a la autopista dificultan el acceso de los animales al paso superior (parte superior del dibujo). Es recomendable situarlas a cierta distancia del paso y dejar un corredor con vegetación natural que facilite el acceso al mismo (parte inferior).

- Para impedir el paso de animales por el paso superior se pueden colocar grandes rocas en una distribución irregular que no dificulte el paso de animales (Figura 7.28).
- Las carreteras y pistas forestales cuyo trayecto discurre paralelo a la infraestructura pueden obstaculizar el acceso al paso superior. Por ello deben proyectarse trazados que no dificulten el acceso de los animales, y evitar la aplicación de pavimentos que pueden dificultar el paso de determinadas especies, y especialmente de invertebrados (Figura 7.29).
- Las bandas transversales de arena o polvo de mármol que se instalan para controlar la efectividad del paso mediante el registro de huellas de animales, interrumpen la continuidad de la vegetación y pueden suponer un obstáculo para los invertebrados. Es importante mantenerlas solo durante el tiempo necesario y retirarlas una vez finalizado el período de control.

Mantenimiento

- Las tareas de mantenimiento deben organizarse durante la fase de proyecto. Cuando del mantenimiento se encargan personas u organizaciones que no participaron en el proceso de planificación (por ejemplo agricultores, guardas forestales y organizaciones para la conservación de la naturaleza) se debe garantizar una estrecha colaboración de estos agentes con las personas responsables del mantenimiento de la carretera.
- El personal responsable del mantenimiento debe recibir una adecuada formación, conocer cuáles son las especies a las que va destinado el paso y aplicar estrictamente los procedimientos establecidos en el plan de mantenimiento.
- Se recomienda que el programa elaborado en la fase de proyecto de la infraestructura describa las tareas a realizar durante los tres primeros años de funcionamiento de la vía. Posteriormente las tareas deben planificarse anualmente, en función de los resultados de los controles.
- Las inspecciones periódicas de los pasos de fauna, incluyendo el desarrollo de la vegetación, los sistemas de drenaje, etc. son esenciales para garantizar su efectividad y deben formar parte íntegra de los procedimientos de mantenimiento de la infraestructura.
- La vegetación se gestionará de acuerdo a los objetivos establecidos para el paso superior, evitando que las tareas de mantenimiento afecten a la conservación de la estructura.
- Se debe prestar especial atención a cualquier uso inadecuado que se produzca en el paso, tales como realización de actividades recreativas, acceso de vehículos, instalación de vallados en las proximidades de los accesos, etc., con el fin de poder emprender actuaciones correctoras que reduzcan las perturbaciones y garanticen una máxima accesibilidad de los animales al paso.

7.2.2 Pasos superiores adaptados: estructuras multifuncionales

Descripción general y objetivos

Sobre las grandes infraestructuras existe un gran número de puentes por los que cruzan carreteras locales, así como caminos agrícolas o forestales y vías pecuarias. Normalmente se cubren con pavimento y casi no los utilizan los animales, pero simplemente añadiendo, en una franja, una capa de tierra vegetal se puede conseguir mejorar su función como paso de fauna. Estas bandas cubiertas de tierra o vegetación facilitan el paso de pequeños vertebrados, carnívoros y con menor frecuencia, incluso ungulados, atenuando el efecto barrera de la infraestructura de transporte. Aunque no suponen una alternativa a los pasos específicos para la fauna, puesto que son menos efectivos, son una medida adicional para mejorar la permeabilidad general de las infraestructuras viarias. Con un coste adicional muy bajo, podrían instalarse franjas cubiertas de vegetación en todos los puentes que cruzan carreteras o ferrocarriles en entornos no urbanizados, y con ello se contribuiría a mitigar notablemente el efecto barrera de la vía. Esta medida es especialmente aplicable a los pasos superiores más anchos que pueden combinar el paso de fauna con el de pistas forestales o carreteras de baja intensidad de tráfico.

Los falsos túneles, que con frecuencia se construyen por razones paisajísticas, para evitar los efectos visuales de los grandes desmontes, pueden adaptarse con facilidad para que puedan también ser útiles como pasos de fauna (Figura 7.30).

Requerimientos de diseño

En general, es importante destacar que en el caso de uso compartido de paso de fauna y de una infraestructura viaria (sea una pista forestal o una carretera) sólo es recomendable adaptar las estructuras en las que pasan vías con muy baja intensidad de tránsito. En caso contrario, el continuo paso de vehículos causará perturbaciones que dificultaran el paso de fauna por la estructura.

Recomendaciones para el tratamiento de las franjas de vegetación

- El ancho de la franja de vegetación debe ser como mínimo de 1 metro (Figura 7.32 y 7.33).
- La capa de tierra no debe ser muy profunda, unos 30 cm puede ser suficiente.
- En la mayoría de los casos lo más recomendable es depositar una capa de tierra vegetal y dejar crecer la vegetación de forma espontánea, para conseguir que se establezcan las comunidades de



Figura 7.30 – Un falso túnel acondicionado para facilitar su uso por parte de la fauna. (Foto de C. Rosell)

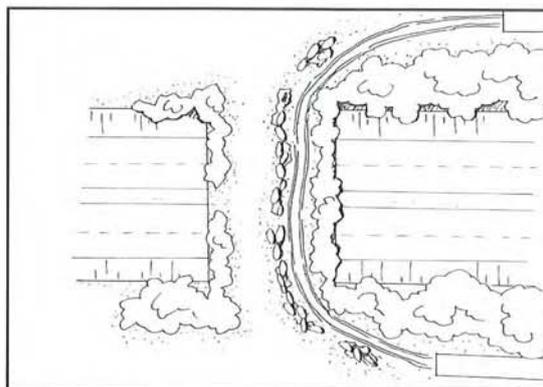


Figura 7.31 – Los caminos o pistas forestales situadas en un paso superior no deben estar pavimentados o deben estar situados en un lateral, para dejar el ancho máximo posible para la zona destinada a paso de fauna. Si se prevé una intensidad de tráfico alta es recomendable separar la pista del resto del paso mediante motas de tierra, piedras u otros elementos.



Figura 7.32 – Una franja con vegetación a ambos lados de la pista forestal facilita el paso de fauna a través de este puente situado sobre una línea de ferrocarril de alta velocidad cerca de Oberderdingen, en Alemania. (Foto de B. Georgii)



Figura 7.33 – El paso de una pista forestal es compatible con el paso de fauna, limitando el acceso de vehículos no relacionados con las tareas forestales. (Foto de J. Carsignol)

plantas ruderales mejor adaptadas al contexto local.

- Toda la superficie del paso no ocupada por la calzada debe mantenerse sin pavimento, o si este ya existe, debe cubrirse con sustrato natural.

Recomendaciones generales para los pasos superiores de uso mixto.

- Los pasos de uso mixto en general tienen que ser más anchos que los pasos superiores específicos, ya que a la anchura requerida para el paso de fauna debe añadirse la destinada a la pista forestal o carretera.
- El acceso de los animales al paso superior no debe verse dificultado por carreteras que discurren perpendiculares a las entradas del mismo (véase figura 7.29).
- Las carreteras o caminos forestal deben situarse en uno de los lados exteriores del paso superior para garantizar la máxima anchura con sustrato natural y sin perturbaciones (Figura 7.31).
- En grandes pasos superiores de uso compartido entre la fauna y una carretera, se pueden reducir las perturbaciones generadas por el tráfico, separando las zonas destinadas a cada función mediante motas de tierra. Cuando la carretera tenga una intensidad de tráfico muy baja, no es necesaria esta separación.

7.2.3 Pasos entre árboles

Descripción general y objetivos

Para los mamíferos que se desplazan por los árboles se han diseñado tipos especiales de pasos. Las ardillas, garduñas o martas no tienen dificultades en cruzar carreteras directamente por encima de la calzada, incluso trepando por las vallas, pero ello comporta un alto riesgo de mortalidad cuando el tráfico es muy denso. Los lirones, por otra parte, raramente descienden a tierra y prefieren cruzar por tramos en los que las ramas de los árboles de ambos lados de la vía están cerca unas de otras.

Los pasos superiores de fauna son fácilmente utilizados por ardillas, martas y garduñas, mientras que los lirones solo los usan si existe una cobertura arbórea. Sin embargo, se puede facilitar el cruce de carreteras por parte de estas especies, instalando estructuras como cables o plataformas elevadas, que permitan el paso entre árboles. En algunos países ya se han construido este tipo de pasos o están en proyecto, aunque hasta ahora no se han realizado seguimientos y por ello se dispone de poca información sobre su efectividad. Lo que sí se ha constatado es que este tipo de pasos los

utilizan en Europa las ardillas y los lirones, y en otras partes del mundo también los monos y las zarigüeyas.

Ubicación

Se recomienda la instalación de pasos entre árboles en:

- Tramos que discurren por zonas forestales que alberguen poblaciones de lirones, ardillas, garduñas y martas.
- Sectores concretos en los que se registre una alta mortalidad de estas especies por atropellos.
- Sectores urbanos en los que existan poblaciones de estos animales y en los que la mortalidad causada por el tráfico sea alta.

Requerimientos especiales

Las plataformas o cuerdas:

- Deben ser resistentes al paso de los animales.
- No deben estar al alcance de predadores.
- Deben disponer de estructuras para faciliten refugio y protección a los animales, al menos en su tramo inicial.
- Deben tener buenas conexiones con los árboles situados a ambos lados de la infraestructura.
- No deben generar ningún tipo de interferencia a los usuarios de la carretera.

Diseño

El diseño de los pasos entre árboles depende del tipo de carretera. En carreteras locales, las copas de los árboles de ambos lados de la vía están suficientemente próximas para que los animales puedan trepar y moverse directamente entre ellas. Cuando la distancia aumenta, una cuerda, plataforma de madera u otro tipo de estructura similar, puede servir para conectar los árboles. En las vías de alta capacidad y en otras situaciones en las que la distancia entre las copas es muy grande, se requiere una conexión más estable, como dos cables de acero que sostienen una pequeña plataforma en medio, con un ancho suficiente para que los animales puedan desplazarse con comodidad.

- Se ha comprobado que las ardillas utilizan cuerdas de un diámetro entre 4 y 10 cm (Figura 7.34-A).
- Uno de los diseños que se utiliza consiste en escaleras de cuerda con un ancho de 30 cm.
- En otros lugares se instalan dos cables de acero con una red en medio de unos 20-30 cm de anchura (Figura 7.34-B).
- En autopistas y autovías, las instalaciones para los

paneles de señalización situados encima de la vía se pueden adaptar como paso de fauna colocando un paso de madera y refugios que conecten la estructura con los árboles de los alrededores (Figura 7.34-C).

- La plantación de árboles muy próximos a las calzadas de manera que permitan la colocación de cuerdas y plataformas adicionales facilita el acceso de los animales a los pasos superiores. No obstante, esta medida no siempre es adecuada

por razones de seguridad vial o, en zonas mediterráneas, puede facilitar la dispersión de fuegos forestales.

Puntos de especial atención

- Es importante que estos pasos estén protegidos contra los depredadores. Se puede colocar por ejemplo una cuerda fija adicional por encima del paso para evitar los ataques de aves rapaces.

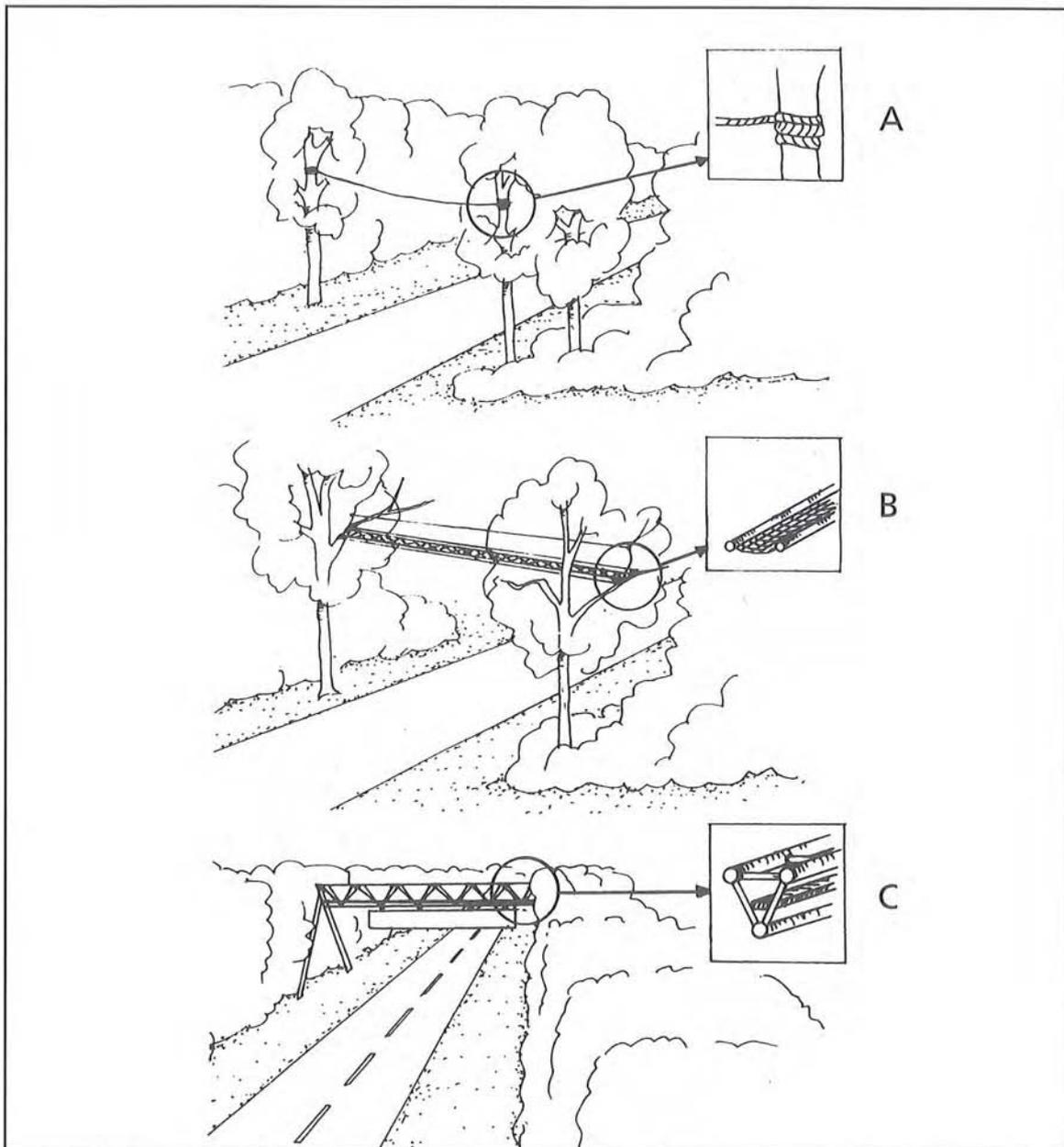


Figura 7.34 – Los mamíferos trepadores que se desplazan por árboles pueden utilizar pequeñas estructuras suspendidas encima de las carreteras. Detalles de diseño de pasos entre árboles constituidos por A: una cuerda, B: una plataforma de red suspendida mediante dos cables de acero, y C: adaptación de un panel de señalización.

7.3 Reducción del efecto barrera: pasos inferiores

Los pasos inferiores de fauna incluyen todo tipo de estructuras situadas por debajo de la plataforma por la que discurre el tráfico. Incluyen desde pasos que se destinan específicamente a la fauna hasta los proyectados con otras funciones como drenaje, paso de carreteras y vías pecuarias, etc., pero que con ligeras adaptaciones pueden ser también ampliamente utilizados por los animales.

Este apartado empieza analizando los viaductos que, aunque no van destinados específicamente a la fauna, son muy adecuados para facilitar el desplazamiento de animales. A continuación se comentan los pasos inferiores específicos para la fauna entre los que se distinguen los destinados a animales de tamaño medio y grande, como osos, jabalíes o cérvidos (7.3.2), y los diseñados para animales de menor tamaño, desde zorros y mustélidos hasta ratones, erizos, reptiles o invertebrados (7.3.4). En otro apartado se incluyen recomendaciones para favorecer el paso de fauna a través de estructuras destinadas inicialmente a restitución del paso de pistas, carreteras o vías pecuarias (7.3.3) y drenajes (7.3.5). Las estructuras destinadas al paso de peces (7.3.6) y anfibios (7.3.7) se describen en apartados específicos.

7.3.1 Viaductos

Descripción general y objetivos

En zonas de orografía abrupta, los viaductos son una solución óptima para facilitar el paso de carreteras y ferrocarriles a través de los valles y vaguadas, que concentran rutas de desplazamiento de muchos animales, sobre todo cuando por ellos discurren cursos fluviales. Las medidas que se adopten para la fauna solo deben garantizar la conservación o mejora de los corredores de desplazamiento ya existentes (Figura 7.35 a 7.38).

Desde el punto de vista ecológico, los viaductos son una alternativa mejor que los terraplenes, y son fundamentales para la conservación de los ecosistemas asociados a los cursos fluviales. Son especialmente favorables para vertebrados cuya distribución está asociada a tipos de vegetación específicos y que no utilizan pasos inferiores sin vegetación.

Considerando el punto de vista económico, los terraplenes acostumbran a ser la opción preferida, especialmente cuando en la obra existen excedentes de materiales que pueden ser utilizados para su construcción. Sin embargo, los viaductos permiten conservar ecosistemas de gran interés y corredores biológicos asociados a cursos fluviales cuya preservación compensa los beneficios económicos a corto plazo.



Figura 7.35 – Este viaducto en el norte de Inglaterra deja intacto el valle del río. (Foto de Highways Agency)



Figura 7.36 – Como alternativa a la construcción de un terraplén, la plataforma de la autovía A20 en el noreste de Alemania, se situó sobre un viaducto que permite conservar los hábitats asociados al río y las llanuras inundadas de sus alrededores. (Foto de DEGES)



Figura 7.37 – Un largo viaducto situado en una zona de media ladera, permite el libre desplazamiento de animales, como en este ejemplo, en una autovía de Suiza. (Foto de H. Bekker)

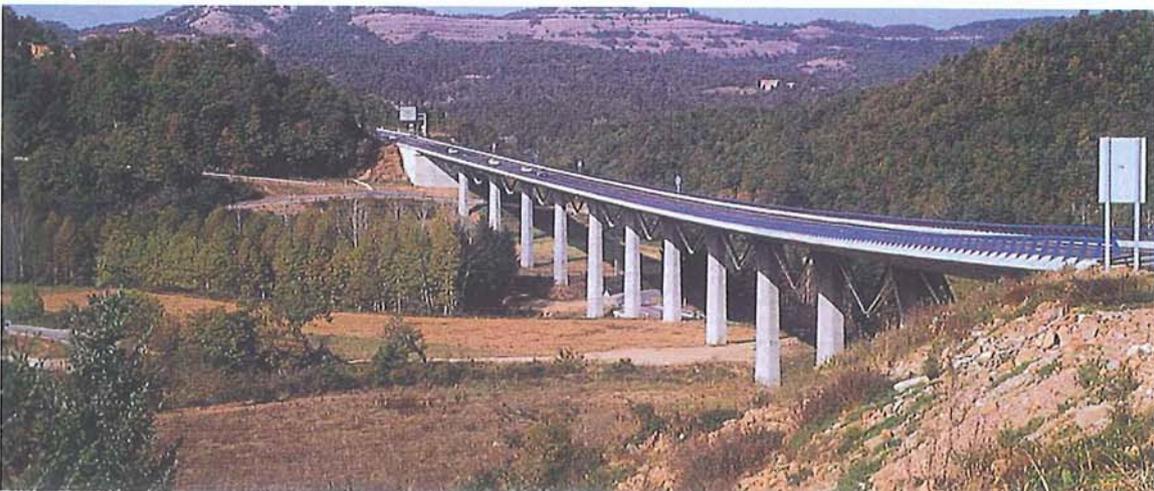


Figura 7.38 – Este gran viaducto en Cataluña (carretera C25 cerca del Parque Natural de Montseny) tiene múltiples funciones como el paso de una carretera y una pista forestal, junto a la conservación de terrenos agrícolas y de hábitats naturales. La planificación urbanística debe garantizar en estos casos, que los sectores destinados al paso de fauna se mantengan funcionales a largo plazo. (Foto de C. Rosell)

Ubicación

- Los viaductos se pueden construir en cualquier vaguada o fondo de valle y son especialmente recomendados cuando hay que cruzar ríos.
- El cruce de carreteras por humedales debería evitarse, pero si no se ha podido evitar la afectación, la construcción de un viaducto es la solución más favorable.

Requisitos de diseño

- Durante la fase de construcción debe evitarse al máximo la alteración de los hábitats existentes. Cuando se trate de ecosistemas especialmente valiosos, pueden aplicarse técnicas constructivas como el uso de cimbras autoportantes que minimizan la alteración de la vegetación en la zona afectada por las obras.
- La restauración de la vegetación bajo el viaducto, en caso de que haya sido afectada durante su construcción, será fundamental para restablecer la conexión biológica. Cuando se crucen ríos, debe garantizarse la continuidad de la vegetación tanto en las riberas, como en los sectores de inundación temporal.
- Para que exista continuidad en la vegetación, el viaducto debe tener una altura mínima de 5 m en zonas con cobertura arbustiva, y de 10 m si cruza un entorno forestal.
- Cuando se cruzan ríos, la longitud del viaducto debe permitir que se conserven bajo la estructura un mínimo de 10 m en cada uno de los márgenes del curso fluvial. En estas franjas será fundamental conservar o restaurar la vegetación ribereña.
- Es recomendable cruzar siempre los prados y llanuras inundables mediante un viaducto.
- En caso de grandes autopistas o autovías con calzadas separadas, se recomienda dejar entre ellas una amplia separación para facilitar la llegada de luz y agua de lluvia al terreno situado debajo del viaducto (Figura 7.41). Hay que evitar, en cambio, dejar pequeños huecos entre dos calzadas adyacentes, ya que ello produce un incremento de los niveles de ruido generado por los vehículos en las superficies situadas debajo del viaducto.
- La falta de luz y de agua puede limitar el crecimiento de la vegetación en algunos sectores, y ello impide el mantenimiento de la vegetación. En tal caso es suficiente con mantener estos espacios cubiertos de tierra, evitando la colocación de gravas, hormigón u otros materiales que dificulten el paso de fauna.
- Para los grandes mamíferos es especialmente importante disponer de anchos espacios en los

que ningún obstáculo pueda dificultar sus movimientos.

- En caso de que el trazado de los cursos fluviales que pasen por debajo del viaducto deba ser modificado, la restauración debe realizarse conservando un aspecto lo más natural posible, tanto en lo que se refiere a su trazado y sección, como a la revegetación. Los márgenes deben estar especialmente diseñados para permitir el libre desplazamiento de nutrias y otras especies semiacuáticas o de ribera, que con frecuencia se desplazan por zonas secas situadas en los bordes del curso fluvial (Figura 7.39).
- Debajo de viaductos más grandes se recomienda la zonificación del terreno, separando los distintos usos: conservación de hábitats, paso de pistas, zonas agrícolas, etc.
- Las carreteras situadas bajo los viaductos en las que sea previsible tráfico nocturno, deben quedar ocultas de los sectores destinados al paso de animales para reducir las perturbaciones derivadas de muchas especies y particularmente la mayoría de mamíferos tienen actividad preferentemente crepuscular y nocturna). La plantación de pantallas vegetales puede ser especialmente adecuada para este fin.
- Las hileras de árboles y montones de ramas, tocones o piedras, pueden facilitar refugio, y a la vez, orientar los desplazamientos de pequeños

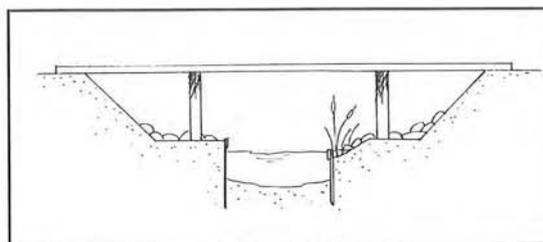


Figura 7.39 - Adaptación de taludes en los márgenes de un río que cruza bajo un viaducto.



Figura 7.40 - En este ejemplo de la RN59 en Francia, la función del viaducto era procurar que los animales se pudieran desplazar libremente. No obstante, un uso inadecuado ha comportado que el acceso esté bloqueado por una valla y material almacenado. (Foto de J. Carsignol).



Figura 7.41 – En el Parque Nacional de Banff (Canadá) se construyeron dos viaductos, uno para cada una de las calzadas que constituyen la autopista Transcanadiense, con el fin de reducir al mínimo la longitud de las zonas situadas bajo el viaducto y para facilitar la entrada de luz bajo las estructuras. (Foto de H. Bekker)



Figura 7.42 – Estas hileras constituidas por troncos de árboles se utilizaron para proporcionar refugio para los animales bajo el viaducto de Zandheuvel en la A27 en los Países Bajos. Al fondo se observa una pantalla de madera que separa la zona de paso de fauna de una carretera local. (Foto de H. Bekker)

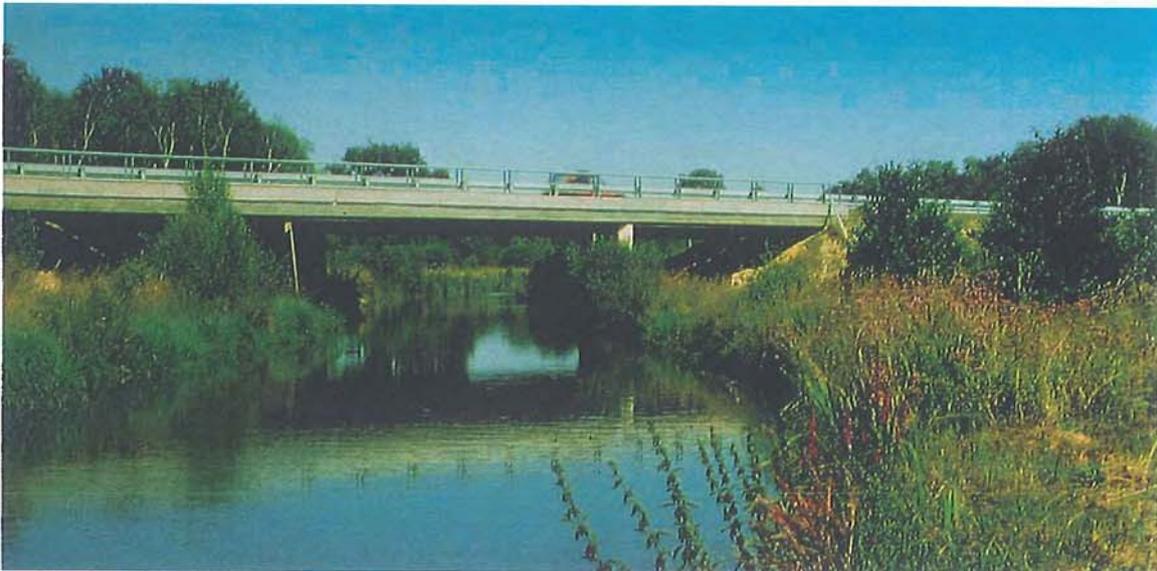


Figura 7.43 – En este curso fluvial en Francia, el viaducto permite conservar el lecho natural del río y también márgenes secos que facilitan el desplazamiento de los animales terrestres. (Foto de J. Carsignol)

vertebrados e invertebrados que crucen por debajo del viaducto. Para optimizar su función deben conectar con setos o alineaciones de vegetación que conduzcan a los animales hacia el entorno natural (Figura 7.42).

Mantenimiento

La zona situada debajo del viaducto debe ser objeto de control periódico para comprobar que no haya obstáculos para los desplazamientos de fauna, o se utilice de forma incorrecta, por ejemplo, para depósito de materiales si el viaducto está emplazado en un entorno agrícola.

Puntos de especial atención

- La zona situada debajo del viaducto no se debe utilizar para almacenar maquinaria ni equipos agrícolas y debe mantenerse libre de vallados u otro tipo de obstáculos (Figura 7.40). La colocación de grandes rocas distribuidas de forma aleatoria puede impedir que se utilice el terreno para otros fines distintos al paso de fauna.
- Se debe garantizar la conexión a largo plazo de los terrenos adyacentes a la infraestructura. La planificación urbanística debe prestar especial atención al entorno de estas estructuras y cuando sea necesario, deben establecerse acuerdos con los propietarios de los terrenos para garantizar que el entorno de los viaductos mantenga características adecuadas para el paso de fauna.

7.3.2 Pasos inferiores para mamíferos de mediano y gran tamaño

Descripción general y objetivos

Este tipo de pasos van destinados principalmente a ungulados (jabalí y cérvidos), carnívoros (oso, lince, lobo, zorro, mustélidos, etc.) y lagomorfos (conejo y liebre), aunque también pueden ser utilizados por otros vertebrados de menor tamaño. Se pueden aplicar especialmente en zonas montañosas y cuando la infraestructura discurre sobre un terraplén. Los pasos inferiores son menos adecuados para las especies voladoras (como los murciélagos) y para especies cuyos movimientos están condicionados por la luz (muchos invertebrados). Tampoco son la solución idónea para conectar hábitats, debido a que la falta de luz y agua permite solo un crecimiento limitado de la vegetación.

Ubicación

- Los pasos inferiores deben estar situados en puntos coincidentes con rutas de desplazamiento habitual de las especies de referencia. La identificación de dichos trayectos es parte del trabajo a realizar durante la evaluación de impacto ambiental (véase capítulo 5).
- Cuando no es posible construir los pasos inferiores en las rutas de desplazamiento habitual de los animales, es esencial conducirlos hacia el paso con vallados o estructuras vegetales.
- Otro lugar idóneo para ubicar estos pasos inferiores son los puntos de intercepción de pequeños arroyos o vaguadas, que canalizan los movimientos de los animales y los conducen directamente hacia el paso.
- Hay que evitar las zonas en las que las actividades humanas puedan suponer una molestia.

Dimensiones

Las dimensiones de un paso inferior se definen por su altura, anchura y longitud (Figura 7.44). La longitud corresponde básicamente al ancho de la carretera o ferrocarril y por lo tanto está determinada por las características de la infraestructura. Sin embargo, la anchura, y en menor medida la altura, se puede elegir según las necesidades de las especies de referencia para las cuales se diseñe el paso. Para caracterizar un paso inferior también se calcula un índice de apertura relativa, que es el resultado de multiplicar el ancho por la altura y dividirlo por la longitud. Por ejemplo, un paso inferior con una anchura de 12 m, una altura de 4 m y una longitud de 25 m tendría un índice de apertura de 1,9. Sin embargo, la apertura relativa nunca se debe utilizar como medida única. Un paso inferior con una anchura de 57 m, una altura de 2 m

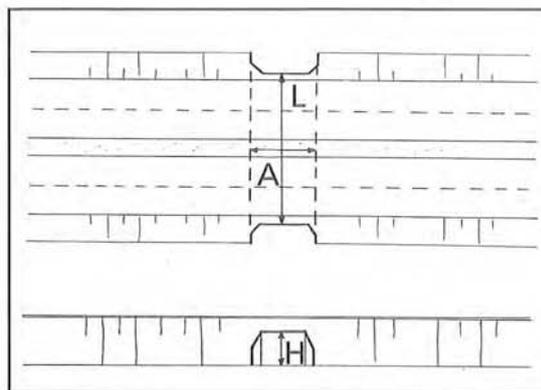


Figura 7.44 – Terminología utilizada para definir la longitud (L), anchura (A) y altura (H) de un paso inferior. En este manual, las dimensiones se definen desde la perspectiva de los animales que utilizan el paso inferior.

y una longitud de 60 m tendrá el mismo índice de apertura, pero una altura de 2 m será claramente insuficiente para permitir el paso de las especies más grandes como el ciervo o el alce. Por tanto, se deben establecer, en primer lugar, valores mínimos de anchura y altura, y la apertura relativa se puede utilizar como un valor complementario que refleja el hecho que cuanto más largo sea el paso inferior, mayor anchura y altura debe tener (Figuras 7.45 y 7.46).

Se ha comprobado que los mamíferos pueden aprender a utilizar los pasos inferiores situados en sus áreas de campeo que inicialmente son rechazados. Los individuos con menos experiencia, sobre todo los jóvenes en fase de dispersión, o los animales que utilicen los pasos inferiores solo esporádicamente, durante las migraciones estacionales, pueden ser más sensibles a las dimensiones. No obstante, no se dispone de muchos datos al respecto, ya que los programas de seguimiento normalmente no aportan información sobre si los animales que usan un determinado paso son adultos residentes o jóvenes en fase de dispersión. Teniendo en cuenta estas limitaciones, las dimensiones que se proponen son las adecuadas para permitir el paso de todas las especies de mamíferos, incluso las de requerimientos más estrictos.

Recomendaciones generales de las dimensiones:

- Anchura mínima: 15 m
- Altura mínima: 3-4 m
- Índice de apertura (ancho x alto / longitud): >1.5)

Tratamiento de la base del paso y vegetación

- La base del paso inferior debe ser natural, y por tanto, debe cubrirse con una capa de tierra en caso de que la estructura tenga la base de hormigón.

- Debido a la falta de luz y agua, la vegetación normalmente no crecerá dentro del paso inferior, pero debe fomentarse su crecimiento, al menos en los tramos más cercanos a los accesos.
- La vegetación en los accesos de un paso inferior debe ser atractiva para los animales para los que se ha diseñado, facilitando refugios, frutos comestibles, etc.
- Las plantaciones de los alrededores de los accesos deben diseñarse de manera que guíen a los animales hacia el interior del paso y les ofrezcan protección frente a las molestias derivadas de la luz o el ruido que producen los vehículos.

Vallados

- Los tramos de carretera o vía férrea donde se han construido pasos inferiores de grandes mamíferos deben contar con vallados perimetrales que eviten el acceso de animales a las plataformas.
- La instalación de los vallados debe realizarse de manera que conduzcan a los animales directamente a las entradas del paso inferior.

Puntos de especial atención

- Los pasos inferiores específicos para la fauna son más adecuados que los pasos multifuncionales, ya que los usos compartidos pueden disminuir la efectividad del paso.
- No obstante, es posible combinar el paso de animales con los de personas o vehículos, siempre que la intensidad de tráfico sea muy baja. Los puntos en los que hay que prestar especial atención en los pasos inferiores de uso mixto se enumeran en el apartado 7.3.3.



Figura 7.45 – El índice de apertura de este paso inferior situado bajo de una línea de alta velocidad, en Francia, es adecuado para facilitar el paso de grandes mamíferos. (Foto de SETRA)

- Un pequeño curso fluvial que pase a través del paso inferior puede potenciar el paso de fauna, ya que canaliza los desplazamientos de muchos animales.
- Deben restringirse las actividades cinegéticas en la proximidad del paso inferior, sobre todo en los corredores de desplazamiento más importantes. No se dispone de datos precisos sobre cual es la superficie idónea para limitar la caza, pero una distancia de seguridad de entre 0,5 y 2 km de radio alrededor del paso puede ser la adecuada, dependiendo del contexto local.
- El acceso al paso inferior debe estar al mismo nivel que el terreno adyacente, y libre de obstáculos que dificulten el desplazamiento a los pequeños animales.
- El diseño de la estructura debe garantizar que el paso no se inunde, ya que la presencia de una lámina de agua recubriendo la base dificulta el paso de muchas especies.
- Los elementos que faciliten refugio en el interior del paso inferior fomentan su uso por parte de los animales más pequeños. Por ello, es recomendable colocar hileras de tocones de árbol, rocas, ramas secas, etc.

Mantenimiento

- Las tareas de mantenimiento deben organizarse durante la fase de proyecto. Cuando del mantenimiento se encargan personas u organizaciones que no participaron en el proceso de planificación se debe garantizar una estrecha colaboración de estos agentes con las personas responsables del mantenimiento de la carretera.



Figura 7.46 – Este paso inferior situado en una carretera que cruza un humedal protegido en Cataluña (Parque Natural de Aiguamolls de l'Empordà) fue construido con tabiques para reducir costos. Las dimensiones son: 10 m de ancho (5 m cada sección), 2 m alto, 28 m largo. Lo utilizan diversas especies de mamíferos como la nutria, el turón, el tejón y el jabalí, y también algunas aves del humedal adyacente. (Foto de C. Rosell)

- El personal responsable del mantenimiento debe recibir una adecuada formación, conocer cuáles son las especies a las que va destinado el paso y aplicar estrictamente los procedimientos establecidos en el plan de mantenimiento.
- La inspección periódica de los pasos, que debe formar parte de su programa de seguimiento, se puede llevar a cabo en combinación con el programa general de mantenimiento de la infraestructura.
- Los residuos que se acumulen debajo de los pasos inferiores deben retirarse a intervalos regulares.
- Se debe prestar especial atención al drenaje: ni siquiera después de una tormenta, debe quedar el paso inferior inundado.
- La aparición de usos indebidos en el interior de los pasos inferiores (como la función de almacenaje de materiales agrícolas que se ha detectado en algunas estructuras) debe ser adecuadamente reconducida .
- La vegetación en las entradas del paso inferior se debe mantener de acuerdo con los objetivos fijados en su diseño.

7.3.3 Pasos inferiores adaptados: estructuras multifuncionales

El uso conjunto de los pasos inferiores por las personas (tráfico y peatones) y la fauna solo se recomienda en los pasos que tengan una anchura superior a 10 m. Sin embargo, también es posible adaptar pasos más pequeños, si su longitud no supera los 25-30 m. Cuando el paso de fauna se combina con circulación de vehículos, aumentan las perturbaciones derivadas del tráfico, lo cual significa que las especies de requerimientos más estrictos, como los ungulados, puede que no utilicen estas estructuras. El paso de vías pecuarias o pequeños arroyos, en cambio, ofrecen mayores garantías de compatibilidad con el paso de fauna.

En cualquier infraestructura de transporte se proyectan un gran número de pasos inferiores para la restitución del paso de carreteras, caminos o vías pecuarias. Muchos de ellos pueden ser adaptados para facilitar el paso de fauna, con costes moderados y, por ello, los pasos inferiores de uso mixto ofrecen una excelente oportunidad para mejorar la permeabilidad global de una infraestructura. Además, algunas adaptaciones pueden realizarse cuando las estructuras ya están construidas y, por tanto, pueden ser una buena opción para aumentar la permeabilidad al paso de fauna de vías en funcionamiento.

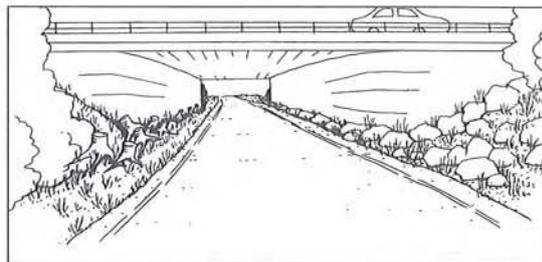


Figura 7.47 – Diseño de la entrada de un paso inferior adaptado. Las piedras y los arbustos ofrecen refugio para los animales pequeños.



Figura 7.48 – Si los puentes situados sobre los arroyos tienen una anchura suficiente para conservar los márgenes naturales del río, los animales los pueden utilizar como pasos inferiores, como en este ejemplo en la República Checa. (Foto de J. Dufek)



Figura 7.49 – Este paso inferior en Dinamarca tiene un ancho de 8 m en la base y una longitud de 115 m. Normalmente, además de personas y caballos, lo utilizan zorros, tejones, martas, armiños y turones. El índice de apertura es demasiado pequeño para admitir el paso de ungulados. En los pasos inferiores situados bajo las autovías, es importante que la distancia entre la parte superior de la estructura y la calzada sea la máxima posible, para reducir el ruido en el interior del paso inferior. (Foto de B. Wandall)

Requerimientos de diseño

- Muchos de los requerimientos mencionados en el apartado 7.3.2 son aplicables también a los pasos inferiores de uso mixto.
- La adaptación para la fauna de los pasos inferiores destinados a restitución de carreteras solo se puede considerar viable si la densidad del tráfico es baja. Las estructuras que permiten el paso de pistas forestales, en cambio, acostumbran a ser fácilmente adaptables para el paso de animales.



Figura 7.50 – Un paso inferior situado bajo una vía férrea en la República Checa. El paso de fauna se ha combinado con una pista agrícola sin pavimentar y sus grandes dimensiones permiten que también sea adecuada para grandes mamíferos. (Foto de J. Dufek)

7



Figura 7.51 – El principal objetivo de este paso inferior en la autopista A10 en Francia, es el drenaje de aguas de un humedal próximo. La instalación de una banqueta lateral que se mantiene seca permite que también sea utilizado para el paso de mamíferos de tamaño pequeño y mediano. (Foto de H. Bekker)

- Se recomienda no pavimentar las carreteras en el tramo que discurre por el interior de los pasos inferiores. En caso de que esto no sea posible, una franja de tierra en ambos márgenes de la carretera aumentará las probabilidades de que los animales utilicen el paso (Figura 7.47).
- Los pasos inferiores por los que discurren arroyos son los más indicados para adaptarlos al paso de fauna (Figura 7.48 y 7.51).
- Se facilitará el paso de fauna instalando elementos que faciliten refugios a los animales (tocones de árbol, ramas apiladas, piedras, etc.) en las franjas laterales del interior del paso.
- Para aumentar la probabilidad de que los animales localicen las entradas del paso es necesario diseñar los vallados perimetrales y las revegetaciones en los accesos del mismo de manera que sirvan para guiar a los animales.

7.3.4 Pasos inferiores para pequeños vertebrados

Descripción general y objetivos

Para los pasos inferiores destinados a animales de pequeñas dimensiones (mustélidos, micromamíferos, etc.) se pueden utilizar estructuras circulares de reducido tamaño. A diferencia de los drenajes, que se construyen para el paso de agua, estas estructuras van destinadas exclusivamente al paso de fauna, aunque se pueden combinar ambos usos, siempre que el drenaje se mantenga seco durante la mayor parte del año, hecho habitual en muchos países de la cuenca mediterránea.

Este tipo de pasos pueden ser útiles para aumentar la permeabilidad de la infraestructura, facilitando la dispersión de muchas especies, y para resolver situaciones en los que un tramo de carretera concentra una alta mortalidad de individuos de una determinada especie, por ejemplo tejones o nutrias, que se desplazan por rutas claramente definidas y son víctimas de muerte por atropello o colisión con vehículos. Las características concretas de los pasos destinados a tejones y nutrias se enumeran en los recuadros de ejemplos.

Ubicación

- Este tipo de pasos son especialmente adecuados en tramos en los que la carretera o vía férrea cruza un entorno natural sobre un terraplén. Sin embargo, también se pueden construir cuando la infraestructura de transporte está al nivel de la superficie, elevando ligeramente la rasante de la vía.
- Es recomendable su construcción en tramos que cruzan zonas con una alta diversidad de especies y que concentran una alta mortalidad de alguna especie en particular a causa de atropellos.



Figura 7.52 – Un tubo diseñado como paso de pequeños animales en la autopista B31neu en Alemania. La base se ha rellenado con tierra, aunque su reducido diámetro (1 m) dificultó la operación. (Foto de V. Keller)

- Si las especies de referencia tienen rutas de desplazamiento habitual, el paso inferior debe situarse lo más cerca posible del punto donde su trayecto cruce la infraestructura (véase también el recuadro sobre los pasos de tejones).

Dimensiones

- Un diámetro de 1,5 m para los tubos, o entre 1 y 1,5 m de ancho para las estructuras rectangulares puede ser adecuado para una gran variedad de especies como micromamíferos o pequeños mustélidos (Figura 7.52 y 5.53). Los tejones pueden usar pasos de diámetro inferior, de entre 0,3 a 0,5 m, pero estas dimensiones son demasiado reducidas para otras especies. Además, el mantenimiento es más difícil en tubos de diámetro más pequeño.
- Es recomendable disponer de anchuras mínimas de 2 m si se requiere garantizar el paso de especies más exigentes como zorros o liebres.
- Las estructuras rectangulares facilitan una mayor superficie en la base del paso que las circulares. Por ello, en caso de optar por estas últimas, se recomienda un diámetro mínimo de entre 1,5 a 2 m para poder rellenar la base de manera que se incremente su superficie.

Diseño

- Las estructuras rectangulares son preferibles para los anfibios (véase apartado 7.3.7), y posiblemente para otros animales, porque las paredes verticales les sirven de guía. En infraestructuras de nueva construcción es recomendable optar siempre por este tipo de sección.



Figura 7.53 – Un paso inferior rectangular para animales pequeños (1,2 m de ancho, 0,8 m de alto y 40 m de largo) situado en la autopista A50 cerca de Hernen, Países Bajos. Este paso inferior lo utilizan con frecuencia los tejones. (Foto de H. Cormont)

- Las estructuras circulares tienen como ventajas su menor coste y una mayor facilidad para su incorporación a carreteras que ya están en funcionamiento.
- El uso de elementos ensamblables de prefabricados de hormigón son una de las mejores opciones para reducir el coste de estos pasos, pero es importante que las uniones entre las distintas piezas no genere ningún tipo de irregularidades en la base.
- La base de estos pasos debe ser lo más natural posible: arena, rocas etc. El hormigón, aunque también puede ser usado, es menos recomendable, y debe evitarse completamente el uso de metal.
- No es aconsejable el uso de estructuras circulares de acero corrugado, ya que muchas especies, como los conejos y diversos carnívoros, rechazan este tipo de estructuras, a no ser que se recubra su base con sustrato natural u hormigón.
- El diseño que se adopte debe impedir que la estructura se mantenga inundada. Para facilitar el desagüe, deberá tener una pendiente mínima del 1%, aunque no debe exceder a proporción 1V:2H, o de lo contrario la base debe estar constituida por una superficie rugosa.
- La parte inferior de la estructura debe quedar en todo momento por encima del nivel del acuífero.
- Los accesos de la estructura deben estar libres de cualquier obstáculo y de perturbaciones. Por ello es necesario evitar la iluminación de los tramos en los que se ubiquen estos pasos.
- Los vallados deben estar instalados de manera que conduzcan a los animales directamente a los accesos del paso.



Figura 7.54 – Entrada a un paso inferior para animales pequeños en la autopista A8 en Suiza (diámetro de 1 m). Los muros de piedra, que en esta región montañosa son muy comunes, guían a los animales al paso. (Foto de A. Righetti)

Puntos de especial atención

- En los accesos del paso se pueden facilitar refugios y guías para los animales pequeños mediante hileras de arbustos u otro tipo de materiales (tocones, piedras, etc.). En algunos casos, es necesario construir vallas adecuadas, para forzar a los animales a desplazarse hasta localizar los accesos del paso.
- La estructura debe ser accesible para su inspección.
- El acceso de los animales al paso inferior debe estar libre de obstáculos.
- Las entradas del drenaje deben estar situadas en la parte exterior del vallado perimetral, en caso de que este exista.
- La existencia de carreteras o caminos perpendiculares a la estructura, que interrumpan la conectividad del hábitat adyacente con el paso inferior, disminuye notablemente su efectividad.

Mantenimiento

- El mantenimiento del paso inferior es fundamental para asegurar su eficacia a largo plazo.
- Será necesario realizar una inspección del drenaje y las vallas alrededor de los accesos entre 2 y 10 veces al año, dependiendo de la importancia de la estructura y del contexto local. La inundación y la acumulación de residuos suponen con frecuencia un problema.
- La vegetación de las entradas de la estructura también requieren mantenimiento, para evitar que pueda cubrir totalmente los accesos, cosa que ocurre con frecuencia si se instalan especies oportunistas como las zarzas.

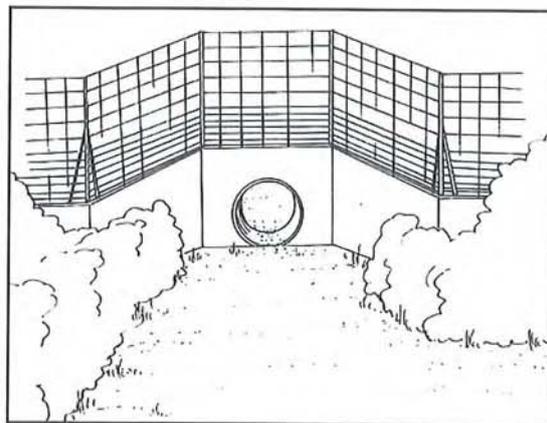


Figura 7.55 – Diseño de la entrada a un paso inferior para animales pequeños. Los arbustos sirven de guía hacia la entrada del paso y ofrecen refugio a los animales

Pasos para tejones

Los tejones son animales nocturnos, que viven en grupos familiares en madrigueras que pueden utilizar durante centenares de años. En sus desplazamientos diarios de la madriguera (normalmente escondida entre arbustos o en zonas boscosas) a las zonas donde se alimentan, siguen rutas fijas que normalmente bordean bosques o setos, pero cuando cruzan carreteras son, con frecuencia, víctimas de atropello. Esta situación ha provocado, en algunos países del centro de Europa, una fuerte disminución de las poblaciones de tejones, ya que los sectores que han quedado aislados por infraestructuras de transporte no pueden ser recolonizados con facilidad. Por ello, en estos países se ha prestado especial atención a los pasos para esta especie y, particularmente en Holanda, se dispone de bastante información sobre la efectividad de estas estructuras.

Ubicación

Los tejones utilizan sendas dentro de su área de campeo y, por ello, es fundamental situar el paso lo más cerca posible de ellas. Por regla general, es suficiente situar dos pasos en el área de campeo de un grupo familiar, o bien, situar un paso cada 200-400 m en tramos de carreteras que discurren por zonas con una alta densidad de tejones.

Diseño

- El vallado es necesario para guiar a los tejones hacia el paso y evitar que crucen la carretera directamente por la calzada. Es necesario colocar estas vallas a ambos lados de la carretera, en cada uno de los pasos y en una longitud variable en función de cada caso particular. En algunos sectores es suficiente una longitud de 10 m a ambos lados de las entradas, mientras que en otros, es necesario vallar una extensa zona, especialmente en los tramos próximos a zonas de alimentación. En consecuencia, es aconsejable consultar a un experto en ecología de la especie.
- Las vallas para impedir el paso de tejones deben ser de malla galvanizada y termosoldada, de luz pequeña (25,4 x 50,8 mm son las dimensiones más frecuentes en Holanda). Es necesario enterrarlas en el suelo, para que los animales no puedan pasar por debajo de ella y, en zonas en las que no sea posible, una alternativa será doblarla y fijarla al suelo.
- En zonas en las que exista riesgo de que los tejones puedan quedar atrapados en el interior de un tramo vallado, será necesario equipar las vallas con puertas de escape que faciliten su salida. Las salidas con puertas basculantes acostumbran a presentar problemas de funcionamiento; por ello, es preferible utilizar pequeñas rampas elevadas.

Medidas de acompañamiento

- Se puede incentivar a los tejones para que utilicen los nuevos pasos, colocando en los senderos de aproximación al paso reclamos, como sirope o cacahuetes, o bien excrementos de individuos procedentes del mismo grupo que se pretende que use el paso.
- Es importante construir refugios en los accesos al paso, como los constituidos por setos y arbustos que, además, orientan a los animales hacia el paso. También es fundamental evitar que estos sectores sufran perturbaciones derivadas de actividades humanas.



Figura 7.56 – Un pequeño paso inferior de fauna en Holanda, utilizado por un tejón. Esta estructura también puede ser útil para otros mustélidos, micromamíferos y anfibios. El diámetro de los pasos para tejones construidos en este país oscila entre 0,3 y 0,6 m, y su longitud entre 5 y 60 m. (Foto de Vereniging 'Das en Boom')



Figura 7.57 – Este paso, construido en Holanda, ha quedado parcialmente inundado y colmatado con arena. La lección aprendida de este ejemplo es que los pasos deben estar construidos por encima del nivel del acuífero y que sus accesos deben tener pendientes estables, que no puedan resultar afectadas por la erosión. (Foto de H. Bekker)

Pasos para nutrias

Las nutrias colonizan cursos fluviales y, con frecuencia, usan sus márgenes para sus desplazamientos. Cuando una carretera intercepta un río y las aguas se canalizan a través de estructuras no adaptadas para el paso de fauna, las nutrias optan por cruzar directamente por encima de las calzadas, con el consecuente riesgo de morir atropelladas.

La mayor parte de la información sobre los pasos de tejones se puede aplicar también a los pasos para nutria. Sin embargo, por sus hábitos semi-acuáticos, tiene algunos requerimientos particulares. En varios países existen pasos específicos para esta especie y, en ocasiones, se utilizan también los drenajes adaptados (véase apartado 7.3.5).

Ubicación

- Bajo las carreteras, en los cursos fluviales utilizados por nutrias.
- En lugares donde se ha detectado que las nutrias cruzan regularmente una carretera. En algunas ocasiones estos puntos presentan marcaje mediante heces.
- En los tramos de carretera que interceptan puntos de conexión más cercanos entre dos cursos fluviales utilizados por nutrias.

Puntos de especial atención

- En los accesos al paso es necesario instalar vallas en una longitud de 25 a 50 m a cada lado del curso fluvial, que obliguen a las nutrias a dirigirse hacia la estructura.
- Aunque las nutrias son buenas nadadoras los pasos tienen que presentar franjas secas, que prefieren para sus desplazamientos. Una opción es la construcción de una banqueta o plataforma lateral elevada por encima del nivel del agua (denominadas pasos de nutrias, *otter-walks*, o de gatos, *cat-walks*).
- Es importante que exista una buena conexión entre las plataformas laterales y los taludes del terreno adyacente.

7



Figura 7.58 – Las nutrias no utilizan pasos completamente inundados. Si usan, en cambio, pequeños tubos paralelos a los drenajes pero situados por encima del nivel del agua, como estos que cruzan por debajo de una carretera del sureste de la República Checa. (Foto de V. Hlaváč)

7.3.5 Drenajes adaptados para animales terrestres

Los drenajes son estructuras diseñadas para el paso de agua y, a veces, discurren por ellos pequeñas corrientes permanentes, siendo necesarias instalaciones adicionales para facilitar el paso de animales terrestres. En otros casos, en cambio, el paso de agua es temporal, y se produce sólo en períodos de lluvias o durante el deshielo y, mientras se mantienen secos, los animales terrestres los pueden utilizar sin requerir muchas adaptaciones. Se ha comprobado que los drenajes adaptados son utilizados sobre todo por pequeños mamíferos, incluidos carnívoros (como las ginetas, garduñas o turones), además de anfibios y especies acuáticas, en caso de que se mantengan húmedos. Cuando los drenajes son de grandes dimensiones y están secos durante todo el año, como ocurre en los países mediterráneos, también los pueden utilizar otros mamíferos más grandes, como zorros o lince.

Los drenajes por los que discurren arroyos de curso permanente deben diseñarse para facilitar el paso de peces. Los requerimientos para estos vertebrados se especifican en el apartado 7.3.6.

Adaptación del interior de los drenajes

- Cuando los drenajes se construyen para que un arroyo pase por debajo de una carretera o ferrocarril, su diseño debe realizarse de manera que se mantenga la continuidad tanto de la vía de agua, como de la vegetación de sus márgenes. Para ello pueden ser necesarias grandes estructuras rectangulares e incluso pequeños viaductos. En estos casos deben aplicarse los mismos principios que para los cruces de los ríos (véase apartado 7.3.1).
- En tubos de drenaje de acero corrugado, es necesario recubrir la base con hormigón u otro tipo de material que permita que los animales se desplacen con facilidad (Figura 7.61).
- Una alternativa para canalizar pequeñas cantidades de aguas permanentes y permitir que la mayor parte del drenaje se mantenga seca, es proyectar la base con pendientes hacia el centro, o realizar una zanja hundida con respecto a la base del paso (Figura 7.59-B y C).
- Otra alternativa para mantener seca una parte del drenaje, si por él discurren aguas de manera permanente, es la construcción de banquetas laterales o plataformas elevadas por encima del nivel del agua (Figuras 7.59-D, 7-62 y 7-63).
- Los drenajes prefabricados rectangulares pueden construirse con plataformas de este tipo ya incorporadas en su diseño (Figura 7.60).

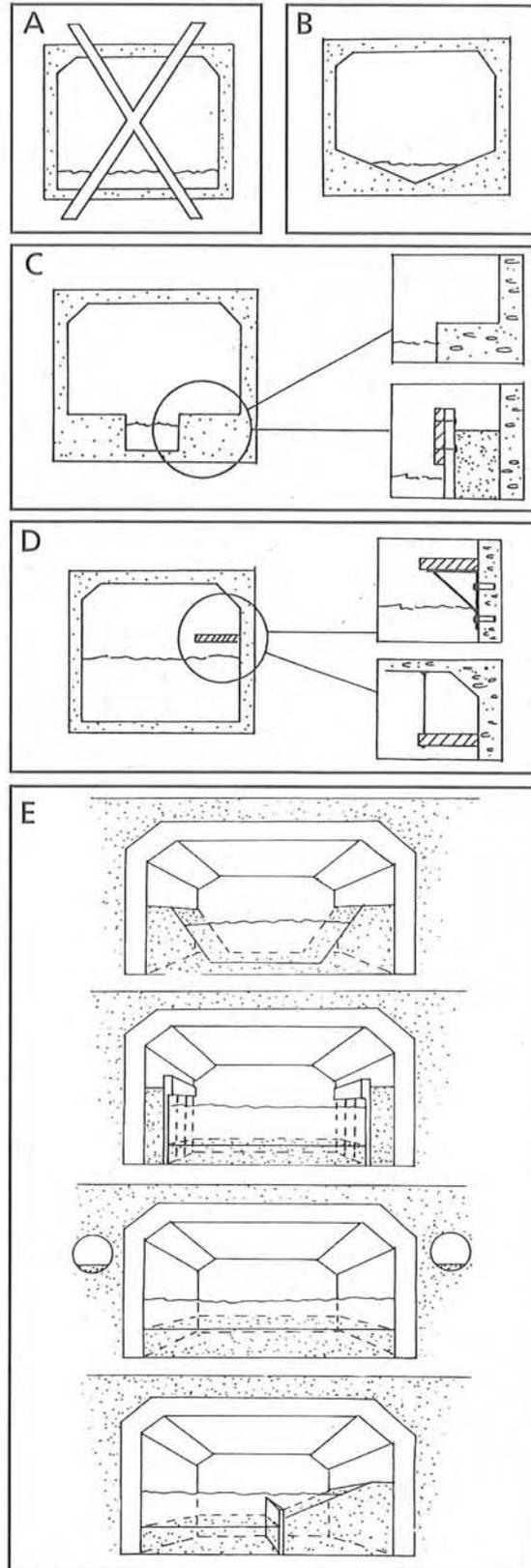


Figura 7.59 – Los pequeños animales terrestres pueden utilizar drenajes, siempre que dispongan de franjas secas por las que puedan desplazarse. A: no lo pueden utilizar los animales terrestres, porque el agua cubre completamente la base del drenaje. B y C: pasos de hormigón prefabricado con plataformas para el paso de fauna situadas por encima del nivel de agua. D: una plataforma de madera situada por encima del nivel de agua y fijada a las paredes del paso. E: distintas alternativas de diseño para facilitar pasos secos en drenajes permanentemente inundados.



Figura 7.60 – Dos drenajes prefabricados situados en las autopistas A35 y A1 en Holanda, con plataformas laterales integradas que son utilizadas para el paso de pequeños animales. (Fotos de G. Veenbaas y H. Bekker)



Figura 7.61 – Una drenaje de 2,5 m de diámetro, construido en acero corrugado, en la carretera C25 en Cataluña, por el que sólo discurre agua durante períodos de fuertes lluvias. El recubrimiento de la base con hormigón facilita el paso de diversas especies de pequeños y medianos mamíferos como conejos, zorros, etc. (Foto de C. Rosell)



Figura 7.62 – Una plataforma de madera colocada en el interior de un drenaje que está siendo regularmente utilizada por nutrias en la República Checa. (Foto de V. Hlavác)



Figura 7.63 – Un drenaje adaptado bajo una vía férrea en Holanda. Las plataformas laterales se han construido con una buena conexión con los taludes del terreno adyacente. Estas plataformas, que pueden ser de madera u hormigón, deben tener una anchura superior a 0,7m y su diseño debe ser tan abierto como sea posible. (Foto de H. Bekker)

Salidas de los drenajes

Los drenajes normalmente tienen en las salidas bajantes escalonados destinados a reducir la erosión que puede causar el agua en los terraplenes. Estos bajantes pueden constituir trampas para los animales que utilizan el drenaje si no se adaptan convenientemente. Se pueden considerar distintas posibilidades, como por ejemplo, abrir las paredes laterales del canal escalonado o sustituir los escalones por rampas (Figura 7.64).

- Las rampas deben facilitar una superficie rugosa que facilite a los animales una buena base a la que adherirse, como la que constituyen los enmacados de piedra y hormigón.
- La pendiente recomendada de las paredes laterales del bajante es de 30°, aunque se puede alcanzar si es necesario, un máximo de 45°.



Figura 7.64 – Los bajantes escalonados de las salidas de los drenajes se pueden convertir en trampas para los animales pequeños (foto superior). Estos bajantes pueden adaptarse para el paso de fauna abriendo las paredes laterales (centro) o mediante construcción de enmacados de piedra (abajo) permitiendo que los animales que usan el drenaje puedan acceder a los taludes con facilidad. (Fotos de C. Rosell)

7.3.6 Drenajes adaptados para peces y otros organismos acuáticos

Descripción general

Entre las estructuras que pueden requerir adaptaciones para facilitar el paso de peces se incluyen viaductos, embalses, drenajes, etc. pero este capítulo se centra únicamente en la adaptación de estos últimos y de los pasos inferiores por los que circulan arroyos. Todas las estructuras por las que discurre un curso de agua permanente se pueden adaptar, con un coste relativamente bajo, para que puedan ser utilizados como pasos para peces y otros animales acuáticos. La adaptación de drenajes ya existentes es difícil, por lo que la solución más eficaz en los casos en los que se requiera restablecer una conexión para peces, es sustituir la tubería existente por otra especialmente diseñada para ello. Las estructuras deben facilitar el libre movimiento de peces tanto a favor como a contracorriente, aunque las barreras normalmente dificultan el remonte de los cursos fluviales, que es fundamental para las especies que deben ascender por los ríos para desovar.

Los requerimientos de los peces son muy específicos y variables para distintas especies. Por ello, aunque se ha recopilado numerosa información general sobre el tema que se aporta en este capítulo, es conveniente, para cada caso en particular, la consulta a un experto.

Ubicación

Los pasos para peces se deben construir siempre que una infraestructura cruce hábitats de interés para estos animales y, en particular, ríos, arroyos o colas de embalses. Un lugar óptimo para situar un paso de peces serán las estructuras en las que el nivel de agua y el sustrato puedan tener características similares que las del curso fluvial que se pretende conectar. Aunque el diseño del paso vendrá determinado por su ubicación, los criterios básicos que deben regir el proyecto de una buena solución son:

- No demasiado largo.
- No demasiado profundo.
- No demasiado estrecho.
- Sin grandes desniveles en su interior, o si los hay, que se resuelvan con una suave pendiente. En el caso de que deban utilizar la estructura ciprínidos, salmónidos jóvenes e invertebrados, es especialmente importante que no existan desniveles ni en el interior, ni en la salida de la estructura.

Cuando se planifiquen nuevas estructuras para el paso de cursos fluviales a través de vías de transporte, habrá que seleccionar la ubicación que permita cumplir mejor estos criterios. Los pasos de peces deben proyectarse de manera que permitan mantener un trazado bien

conectado con el curso fluvial, tanto aguas arriba como aguas abajo del paso, y con la menor longitud posible de cruce por el interior de la estructura. Una estructura demasiado inclinada (más de 30° de pendiente con respecto al curso que se conecta) no cumplirá bien su cometido, ya que generará turbulencias tanto en las entradas como en las salidas cuando el flujo de agua sea importante y, además, favorecerá la erosión de los márgenes del curso. No obstante, las estructuras de mayor inclinación también permiten reducir la longitud del paso y, por tanto, con frecuencia debe optarse por una solución de compromiso que permita una óptima relación entre la longitud y la pendiente.

Requerimientos de diseño

En estos pasos hay que evitar (Figura 7.65):

Un desnivel excesivo en la salida del paso

Las barreras pueden ser generadas por la acción erosiva del agua en la salida de un drenaje. Las charcas que se forman en estos puntos pueden ser un hábitat en sí mismo, pero también constituyen una barrera para el remonte del río por parte de algunas especies, la mayoría de las cuales ven imposibilitado su avance con desniveles de sólo 5 a 10 cm. Cuando existe un importante desnivel entre la salida de la estructura y la base del terreno adyacente, la fuerza erosiva del agua genera una pequeña excavación donde se retiene agua, y este pequeño embalse puede suponer una barrera. La solución óptima, por ello, es evitar desniveles, o conseguir que sean mínimos. En caso de que la formación de la charca sea inevitable, debe conseguirse que sea suficientemente profunda para reducir la erosión causada por la caída del agua y para que los peces puedan coger impulso para saltar la barrera.

Profundidad inadecuada en el interior del paso

Es importante que la profundidad de la lámina de agua dentro del paso sea suficiente para que los peces puedan atravesarlo. Las especies presentan diferentes requerimientos durante distintas fases de sus ciclos de vida y en diferentes épocas del año. Por ejemplo, el salmón adulto requiere una profundidad de al menos 30 cm, mientras que la trucha requiere una profundidad de 10 -15 cm, dependiendo del tamaño del pez.

Demasiada velocidad del agua en el interior del paso

La circulación de agua a velocidad excesiva puede constituir una barrera para los peces jóvenes o de natación lenta, pero este parámetro está condicionado por la inclinación del drenaje y, a veces, puede que sea difícil reducir la velocidad del agua hasta alcanzar niveles adecuados. Al igual que ocurre con la profundidad, la velocidad de la corriente se puede regular mediante la construcción de pequeñas zonas

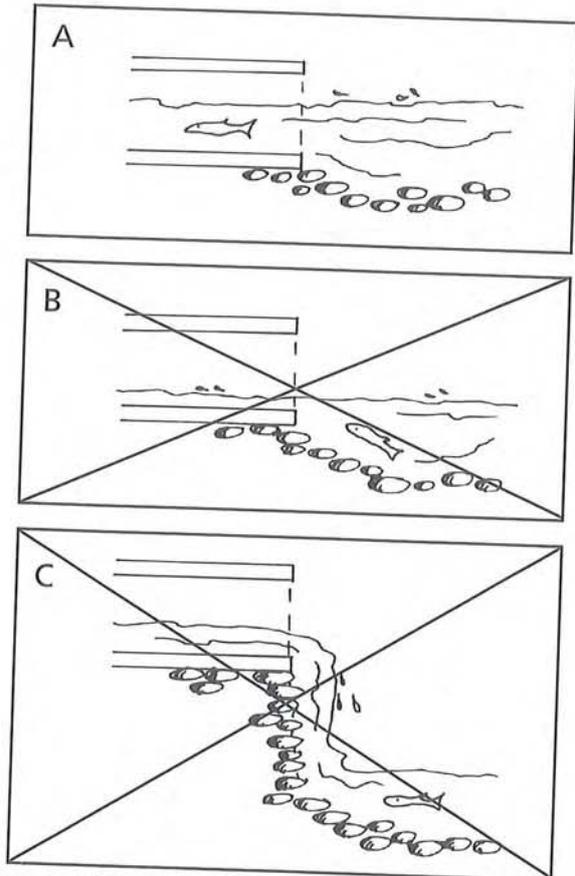


Figura 7.65 – El nivel de agua y el diseño de las salidas son elementos cruciales para permitir el paso de peces y otros organismos acuáticos. A: situación ideal. B: el nivel de agua en la tubería es demasiado bajo. C: hay un desnivel demasiado pronunciado entre la salida del drenaje y el curso fluvial.



Figura 7.66 – Este drenaje en Noruega, tiene su salida a un nivel demasiado alto en relación al curso fluvial. El desnivel supone una barrera para los peces que se dirigen aguas arriba (Foto de B. Iuell)

embalsadas en las salidas de los drenajes, diseñados de manera que fueren que todo el drenaje mantenga permanentemente una lámina de agua de profundidad adecuada. Esta solución requiere labores de mantenimiento, con dragados periódicos que eviten que los sedimentos colmaten la zona de aguas embalsadas.

Acumulación de material de arrastre en la entrada del paso

Debe evitarse la acumulación de materiales arrastrados por las aguas en el interior del paso, evitando que existan irregularidades en el mismo que puedan facilitar la retención. En caso contrario, la acumulación de estos materiales puede crear barreras para los organismos acuáticos y otros problemas, como retenciones que pueden causar inundaciones aguas arriba.

Turbulencias en el interior del paso

Las turbulencias causadas bien por la estructura misma, o por el material de arrastre dentro del drenaje, pueden suponer un obstáculo para los peces jóvenes o pequeños. Una vez más, evitar las irregularidades y desniveles dentro de la estructura, y diseñarla con poca pendiente y de manera que mantenga permanentemente una lámina de agua, reducirá el riesgo de que se produzcan fuertes turbulencias.

Diseño de drenajes adaptados al paso de peces

En general, los drenajes que dejan el sustrato natural intacto son mejores que los que tienen la base de hormigón u otro material artificial. Es fundamental mantener un sector con lámina de agua permanente y suficientemente profunda para facilitar el paso de peces. Este objetivo puede conseguirse creando un desnivel, que permita mantener un canal más profundo que mantenga un determinado nivel de agua en el paso, incluso en los períodos de sequía.

Actualmente se utilizan tres diseños:

a) Horizontal (baja pendiente)

- Si el drenaje es prácticamente llano, aunque sea largo se facilita el desplazamiento de los peces. La baja pendiente permite que la propia circulación del agua y el depósito de sedimentos, formen un lecho similar al de un curso natural dentro del drenaje.
- Si la velocidad del agua es tan baja como para permitir que se forme un lecho similar al del curso fluvial en el drenaje, se conseguirá que una gran variedad de peces de diferentes especies y tamaños puedan desplazarse a través de él.
- Una forma de asegurarse el paso de los peces por el nuevo drenaje es instalar una estructura

sobredimensionada y ligeramente hundida en el terreno, de manera que el nivel de la base del drenaje se mantenga entre 15 y 20 cm por debajo del lecho del curso fluvial. De esta manera se producirá una sedimentación natural y un curso meandriforme que variará en función de los flujos de agua, simulando un curso natural.

b) Diseño hidráulico

- El drenaje está totalmente condicionado por los efectos hidráulicos de su tamaño, inclinación, material y situación respecto al curso fluvial, que permitirán crear profundidades, velocidades y un perfil hidráulico que se ajuste a las capacidades de nado de los peces. Hay que tener en cuenta que durante la fase de proyecto se cuenta con muchas variables sobre las que incidir, y se deben tener en cuenta las consecuencias de cada una de ellas en la velocidad y profundidad del agua, generación de turbulencias, etc.
- El diseño del drenaje debe conseguir que se mantenga una velocidad del agua que permita el desplazamiento de las especies de referencia y, particularmente, en las condiciones que se produzcan durante el período de migración de estas especies. No obstante, hay que tener en cuenta también la influencia de la longitud, ya que cuanto más largo sea el drenaje, menor debe ser la velocidad del agua. Esta puede disminuir reduciendo la inclinación de la estructura o con una superficie rugosa en el acabado de su base.
- Si la velocidad del agua en el drenaje es muy elevada, puede erosionar la base y los márgenes en su salida. Por ello, en muchos casos es necesario proteger estos sectores mediante hormigón u otras superficies más rugosas como enmacados de piedras. Se recomienda que la velocidad de salida del drenaje no supere la velocidad del curso que cruza el drenaje en más de un 25% (e incluso menos, si la velocidad del agua es muy alta).

c) Simulación de un curso natural

- Este diseño pretende imitar la corriente natural del curso dentro del drenaje. La velocidad del agua en su interior, el movimiento de sedimentos, etc. se proyectan para que sean similares al del curso natural. Esta opción garantiza el paso de la mayoría de especies que se encuentran en el curso a través de estas estructuras.
- Este tipo de diseño se aplica preferentemente en drenajes largos.
- El factor principal para simular una corriente natural es la anchura del drenaje, que debe permitir que la anchura del lecho en su interior sea superior

que la de del curso natural. Ello permitirá que los procesos naturales puedan continuar produciéndose a través del drenaje y la creación de corrientes con un flujo suave que permitan el paso de los peces cuya potencia de nado sea más débil.

- El ancho del curso fluvial para que pueda ser simulado en el interior de una estructura de drenaje debe ser inferior a 10 m. Si el curso es más ancho, debe optarse por la construcción de un viaducto (véase apartado 7.3.1).
- Otro factor importante para determinar la simulación de un curso natural es la pendiente de la estructura. La inclinación del drenaje debe reducirse al mínimo para disminuir la fuerza erosiva del agua en la base y la salida de la estructura, simulando la inclinación del terreno adyacente o con la mínima pendiente necesaria para facilitar la circulación del agua.
- El diseño de la base del drenaje que constituirá el lecho del curso, debe presentar condiciones de pendiente, composición y estructura de los materiales semejantes a los del curso natural fuera de la influencia del drenaje.
- Aunque los drenajes que permiten simular el curso natural son la mejor alternativa para arroyos que puedan presentar un importante arrastre de troncos, piedras u otros materiales en períodos de lluvias torrenciales, existe el riesgo de que estos materiales queden retenidos y obstruyan la estructura. En lugares en los que exista este riesgo, es preferible la construcción de un viaducto.
- La tipología de drenaje utilizado para la simulación de un curso natural depende de las preferencias de los proyectistas. Las estructuras rectangulares o las grandes bóvedas sin base son las que mejores resultados han obtenido y tienen la ventaja de que la restauración del curso fluvial se puede realizar antes de colocar la estructura.

Puntos de especial atención

Especies y tamaño de peces

La adaptación de estructuras al paso de peces se debe basar en los requerimientos hidráulicos de las especies con menor capacidad de nado o de menor tamaño. Es fundamental por tanto, que en la fase de EIA se identifiquen con precisión que especies se encuentran en el curso fluvial afectado y sus hábitos de freza y migraciones reproductoras.

Los requerimientos de los salmónidos jóvenes (truchas y salmones de entre 50 y 120 mm) son un dato importante a tener en cuenta. Estos peces, más débiles

que los adultos, requieren una baja velocidad del agua y del nivel de turbulencias. Un drenaje diseñado para truchas de 200 mm servirá también para los salmónidos jóvenes, y las características hidráulicas del paso para truchas adultas cuando el agua está a su nivel más alto pueden servir para los ejemplares jóvenes cuando hay menos flujo de agua.

Medidas de acompañamiento

Chapas divisorias

Las chapas divisorias (Figura 7.67) se añaden a un drenaje para reducir la velocidad de la corriente de agua, pero no son aplicables en los cursos de la cuenca mediterránea. Otra de sus funciones es la de mantener un nivel mínimo en el paso durante las estaciones de sequía. No obstante, las chapas divisorias tienden a acumular el material de arrastre, lo cual reduce la capacidad del drenaje y puede ser un obstáculo para los peces, así como bloquearlo. Por ello, se requieren periódicas tareas de limpieza. Para facilitar el acceso y realización de las labores de mantenimiento, sólo se deben instalar chapas divisorias en drenajes de más de 150 cm de altura.

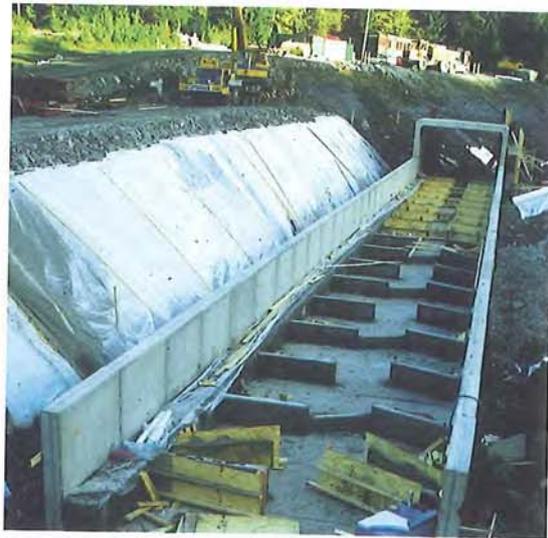


Figura 7.67 -Chapas divisorias en un canal a su paso por el interior de un drenaje en Noruega, durante y después de la construcción. (Fotos de B. Iuell)

Canal con base rugosa

Los canales con base rugosa, normalmente enmacados de piedra y hormigón, acaban presentando un lecho constituido por los materiales de construcción mezclados con sedimentos que se depositan en ellos y que facilitan el paso de una amplia diversidad de peces. La rugosidad regula la velocidad del agua y la heterogeneidad del lecho proporciona distintos sectores, algunos de ellos con mayor profundidad y que sirven como trayectos principales de migración de los peces, y otros con aguas que circulan a velocidad muy baja y que facilitan zonas de descanso para una gran variedad de especies de distinto tamaño.

Depósito de sedimentación de materiales arrastrados

- Es recomendable instalar rejillas u otros sistemas de retención y sedimentación de los materiales arrastrados antes de la entrada de la estructura.
- El espacio situado por debajo del sistema de retención de materiales debe quedar siempre abierto para facilitar el paso de agua.
- Los espacios entre rejillas no deben tener menos de 20-25 cm.

Mantenimiento

- La falta de mantenimiento puede conllevar la creación de barreras que dificulten los movimientos de las especies de referencia en los pasos.
- Las pequeñas zonas embalsadas situadas en las salidas de las estructuras deben ser objeto de control después de que se haya producido una inundación, o como mínimo dos veces al año, para evitar su colmatación.
- El mantenimiento del drenaje debe garantizar que se mantengan las condiciones necesarias para permitir el paso de peces. El material que se deposite en las chapas divisorias en canales, puede no afectar de manera importante la velocidad del agua, pero dificultar el paso de los peces.

Por tanto, habrá que realizar con frecuencia las inspecciones y labores de mantenimiento de los drenajes. El paso de las especies de salmónidos se produce sobre todo en los meses de otoño, cuando existe mayor riesgo de inundaciones y acumulación de material de arrastre. Teniendo en cuenta que en las épocas de crecidas no será posible realizar las tareas de mantenimiento, es importante realizar las limpiezas a finales de verano.

7.3.7 Pasos de anfibios

Descripción general y objetivos

La mayor parte de las especies de anfibios se reproducen en el agua, mientras que durante el resto del año pueden vivir tanto en hábitats acuáticos como terrestres. Muchas especies presentan migraciones estacionales; los adultos se dirigen a finales de invierno hacia los hábitats donde se encuentran sus puntos de reproducción (estanques, arroyos, colas de embalses, etc.) y posteriormente retornan a sus hábitats estivales. Las puestas se realizan en el agua, donde tiene lugar también el desarrollo de las larvas; una vez estas han completado su metamorfosis (normalmente en primavera o verano, pero existen variaciones importantes según las especies y años) abandonan los ambientes acuáticos e inician una migración colectiva hacia los ambientes terrestres. Este fenómeno muestra una alta sincronización en algunas especies y, por ello, se produce un movimiento masivo de individuos durante un período relativamente corto, de unos pocos días, que se desplazan en una misma dirección. Algunas especies (caso de algunas ranas y del sapo común, Figura 7.68) son muy fieles a su punto de reproducción, volviendo año tras año al mismo lugar para efectuar la puesta, e incluso años después de su destrucción.

Las importantes concentraciones de individuos que se dirigen a los puntos de desove en los períodos de migración reproductora, o que abandonan los puntos de agua, después de reproducirse, requiere la aplicación de medidas específicas para que puedan cruzar de forma segura las infraestructuras de transporte que intercepten sus trayectorias. En este apartado se describen vallados y pasos que pueden utilizarse. Otras medidas adicionales para reducir la mortalidad en vías de transporte y alrededor de las mismas, tales como



Figura 7.68 – Una gran cantidad de sapos comunes mueren en las carreteras cuando intentan cruzarlas en su migración a los lugares de reproducción. (Foto de A. Toman)

adaptación de bordillos y drenajes, se detallan en el apartado 7.4.6.

Las medidas tienen los siguientes objetivos:

- Bloquear el acceso de anfibios a la carretera para prevenir la mortalidad causada por atropello.
- Permitir que los anfibios crucen de forma segura las carreteras en sus desplazamientos entre los lugares de reproducción y los hábitats que ocupan durante el resto del año.

Los anfibios no requieren necesariamente tipos especiales de pasos para cruzar las infraestructuras. La mayor parte de pasos inferiores, y particularmente los drenajes adaptados y pasos destinados a pequeños animales (véase 7.3.4.), pueden adaptarse también para este grupo taxonómico. Ello no obstante, hay que tener en cuenta los siguientes condicionantes:

- Las estructuras (vallados u otras) que dirigen a los animales a los pasos son muy importantes y deben instalarse cumpliendo requerimientos precisos en cuanto a dimensiones y otros aspectos (véanse datos más abajo).
- Los anfibios, y sobre todo los ejemplares jóvenes, requieren ambientes húmedos. Por tanto, no es conveniente construirles pasos muy largos que estén secos. En muchos casos, los drenajes o pasos inferiores por los que discurran pequeños arroyos constituirán una óptima estructura para el paso de anfibios.

En algunos países existen directrices específicas para los anfibios, aunque no todas ellas tienen en cuenta los resultados más recientes sobre la eficacia de las estructuras. Por otra parte, algunas también tienen en cuenta factores locales. En este apartado se describen los estándares que pueden considerarse más generales, aunque es importante contar durante la fase de EIA con expertos que colaboren en la identificación de las especies afectadas y contribuyan al diseño de las medidas destinadas a prevenir la mortalidad por atropello y facilitar pasos que les permitan atravesar las vías de transporte.

Ubicación

- En los tramos de carreteras en los que se produzca un importante número de atropellos, que suponga una proporción significativa de los individuos que intentan el cruce, o incluso, si resulta afectado un pequeño porcentaje, pero se trata de especies amenazadas.
- En los puntos en los que la infraestructura intercepte las rutas de migración estacional de los anfibios entre sus hábitats terrestres y las zonas de reproducción.

Instalaciones temporales

Descripción general

Barreras que se instalan durante el período de migración reproductora para impedir el acceso de los individuos que se desplazan a la carretera y dirigirlos hacia contenedores en los que se puedan mantener durante cierto tiempo, antes de ser recogidos y trasladados manualmente al lado opuesto de la vía que intentaban cruzar. Estos sistemas, que se aplican en diversos países, requieren de la colaboración de grupos de voluntarios, que periódicamente revisen los contenedores y trasladen a los individuos capturados, durante los días en que dure la migración reproductora.

Cubos de recolección de individuos

- Los cubos deben tener como mínimo 30-40 cm de alto.
- Deben estar enterrados, con su borde situado al nivel del suelo (Figura 7.69).
- La distancia recomendada entre los cubos es de 10 m.
- Durante los períodos de migración, los cubos deben ser controlados con frecuencia. Aunque esta depende del número de animales implicado en la migración, como mínimo deben programarse entre una y tres visitas cada 24 horas. En zonas con gran número de anfibios pueden ser necesarios controles incluso cada media hora.
- Hay que vaciar el agua que se acumule en los cubos, para que los animales no se ahoguen.
- En determinadas circunstancias, se recomienda colocar cubos con un borde saliente hacia el interior, para evitar que se salgan los tritones, ranitas de San Antonio o meridonal u otras especies que son buenas trepadoras.



Figura 7.69 – Una instalación temporal consistente en una valla de lona, con cubos enterrados en los que caen los anfibios que se ven forzados a seguir la barrera que ha interceptado su trayectoria. Los voluntarios recogen y trasladan al otro lado de la carretera a los individuos. (Foto de P. Schlup)

Vallas

- Deben utilizarse vallas completamente opacas (Figura 7.69 y 7.70). Los vallados de malla o redes no son recomendables, porque los animales pueden trepar por ellas. Además, tienen una capacidad limitada para dirigir a los animales hacia los puntos de recolección o pasos, ya que los individuos perciben el extremo opuesto de la valla e intentan trepar a través de ella.
- La función principal de los vallados es interceptar a los individuos y obligarles a dirigirse a los cubos. Estos deben colocarse adosados a las vallas para facilitar la caída de los animales en su interior.
- Al final de las vallas debe colocarse un cubo, o bien, deben doblarse los extremos terminando en forma de U para que los individuos retornen al entorno del que procedan y no puedan acceder a la calzada.
- La altura mínima de la valla debe ser de 40 cm; si hay presencia en la zona de rana ágil, deberá aumentarse hasta los 60 cm.
- Para evitar que los anfibios puedan trepar por las vallas se recomienda que sean de materiales muy lisos y que su parte superior esté doblada hacia el interior.
- No deben colocarse estacas de sujeción de la valla en los lados por los que se desplazan los anfibios (Figura 7.70).
- No se debe utilizar material magnetizado, porque puede desorientar a algunas especies como el sapo común.



Figura 7.70 – Para interceptar el desplazamiento de los anfibios se puede instalar una lámina de plástico opaco y resistente, como en este ejemplo en Hungría. Sin embargo, los postes no deben colocarse como se ha hecho en este caso, en la parte por la que se acercan los anfibios, para no interferir la función de la valla de conducir a los animales hacia los cubos de recolección o a los posibles pasos. (Foto de M. Puky)

También se pueden colocar instalaciones temporales para facilitar la migración de los animales jóvenes que abandonan los hábitats en los que han nacido después de completar su metamorfosis. Los cubos de recolección de individuos no son apropiados en este caso. Un método alternativo es retenerlos colocando barreras, que se pueden abrir cada cierto tiempo parando el tráfico en la carretera.

Instalaciones permanentes

Este tipo de instalaciones consiste en una estructura que intercepta los desplazamientos de los anfibios y los conduce a los pasos adecuados para ellos. Estos elementos, en lugar de vallas se denominarán estructuras de guía, ya que su función principal es la de dirigir a los animales a los pasos por los que pueden cruzar por debajo de la carretera, y deben ubicarse exactamente en las rutas de migración. Si las estructuras guía van paralelas a la carretera, la distancia entre los pasos debe ser inferior a 60 m, mientras que si tienen forma de embudo, en V en dirección al paso, la distancia puede ser de hasta 100 m. Los mamíferos pequeños y reptiles también se pueden beneficiar de estas estructuras.

Estructuras de guía

- La parte vertical debe estar unida a la superficie formando un ángulo de 90°. Otros diseños con ángulos redondeados no ejercen una buena función de guía hacia los pasos.
- Los extremos de las vallas deben tener forma de U para que los animales no puedan acceder a la calzada (Figura 7.71).
- La altura debe ser de 40 cm como mínimo (60 cm si hay presencia de rana ágil en la zona).
- La parte superior de la valla debe estar doblada hacia el interior, para evitar que los animales puedan trepar y saltar por encima de ella (Figura 7.71).
- La superficie adyacente a la estructura guía por la que se desplazan los animales, debe estar desprovista de vegetación, aunque esta será útil en los alrededores, para proveer protección a los individuos en migración.
- Las estructuras guía se deben colocar lo más cerca posible de la carretera para que el paso tenga la menor longitud posible. Una barrera protectora, tipo bionda por ejemplo, impide que los vehículos se queden atrapados en las estructura guía en caso de que salgan de la carretera (Figura 7.72).
- La unión de las estructuras guía y las entradas de los pasos, debe facilitar que los animales localicen

fácilmente la entrada, evitando la formación de bordes salientes u otros elementos que pudieran obstaculizar el desplazamiento de los anfibios.

Pasos bidireccionales

Son pasos constituidos por estructuras que permiten a los animales desplazarse en ambos sentidos si la sección del paso es suficientemente amplia. Las dimensiones recomendadas se indican en la Tabla 7.3. La eficacia del sistema está plenamente comprobada, y se ha observado que también son pasos útiles para otros pequeños vertebrados, especialmente micromamíferos y también reptiles.

Puntos de especial atención

- Son más recomendables las estructuras rectangulares que las circulares, porque su base es más amplia, facilitan el avance de los animales hacia la salida del paso y se pueden fijar mejor las estructuras guía a sus accesos (Figura 7.73).
- Si se utilizan pasos de sección circular, la base de los pasos se debe rellenar de hormigón para que la superficie por la que se desplazan los animales sea mayor.
- El material de construcción más recomendable es el hormigón, y es preferible al acero, plástico u otro tipo de material (Figura 7.72 y 7.73).



Figura 7.71 – La forma en U al final de la valla obliga a los animales a retornar al hábitat del que provienen y se reduce el número de los que entran en la carretera aprovechando este punto. (Foto de S. Zumbach)



Figura 7.72 – Vista de un paso rectangular en Alemania con estructuras de guía bien delimitadas. (Foto de J. Niederstrasser)

- Si los pasos de anfibios tienen también función de drenaje, y una lámina de agua recubre la base de manera permanente, será necesario construir banquetas laterales permanentemente secas, ya que los anfibios requieren humedad pero no zonas inundadas.
- Los pasos deben contar con un buen drenaje para evitar su inundación.

Pasos unidireccionales

Es uno de los primeros sistemas de paso de anfibios que se aplicaron, aunque actualmente prácticamente no se utiliza. El sistema consiste en dos zanjas, situadas a cada lado de la carretera y lo más cerca posible de sus bordes, en las que caen los anfibios que avanzan en perpendicular a la vía. En un determinado punto de la zanja, hay un orificio que conduce a un tubo con ligera pendiente hacia el extremo contrario, y que permite el desplazamiento de los anfibios en esta dirección hasta salir al exterior. Aunque el sistema parece

muy eficaz para las especies de referencia, en especial sapos, algunas experiencias detectaron una considerable mortalidad en tritones y ejemplares jóvenes de sapos y ranas. Además, estos sistemas tampoco son adecuados para reptiles o pequeños mamíferos. Por tanto, se desaconseja el uso de este tipo de pasos.

Mantenimiento

- Muchos pasos no son efectivos debido a la falta de mantenimiento. Es necesario realizar periódicamente las tareas de control del buen estado de las vallas o estructuras de guía, evitar la obstrucción o inundación del paso, etc.
- Los pasos de anfibios requieren de la actuación de un equipo de mantenimiento que periódicamente inspeccione las estructuras y elimine cualquier obstáculo.

Tabla 7.3 – Dimensiones mínimas requeridas para los pasos de anfibios según la anchura de la infraestructura de transporte, que determina la longitud del paso.

Dimensiones mínimas del paso según la anchura de la vía				
Anchura de la vía	<20 m	20-30 m	30-40	40-50 m
Paso rectangular (ancho; alto)	1 m; 0,75 m	1,5 m; 1 m	1,75 m; 1,25 m	2 m; 1,5 m
Paso circular (diámetro)	1 m	1,4 m	1,6 m	2 m
Paso semi circular (ancho; alto)	1 m; 0,7 m	1,4 m; 0,7 m,	1,6 m; 1,1 m	-

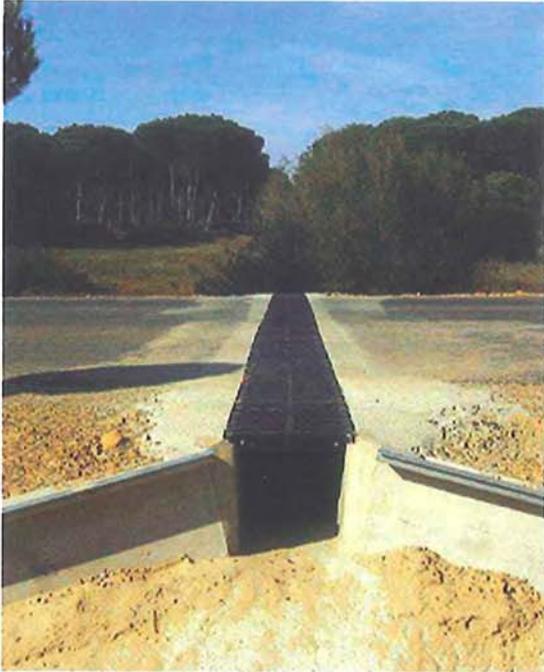


Figura 7.73 – Paso de anfibios con una rejilla en su parte superior, situado en el entorno de Doñana, en Andalucía. (Foto de Giasa)

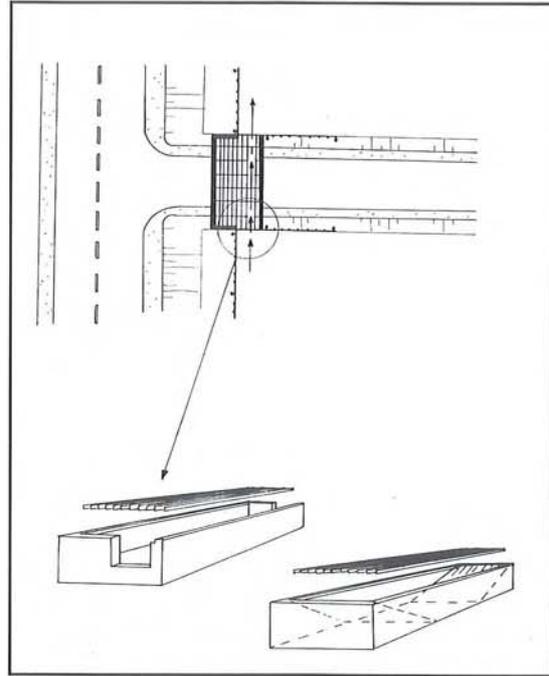


Figura 7.74 – En las intersecciones de carreteras, los pasos en forma de U (0,4 m de profundidad y 0,3 m de anchura) cubiertos con rejillas (malla de 60 x 100 mm) son necesarios para unir las estructuras guía que de lo contrario se interrumpirían en estos puntos.

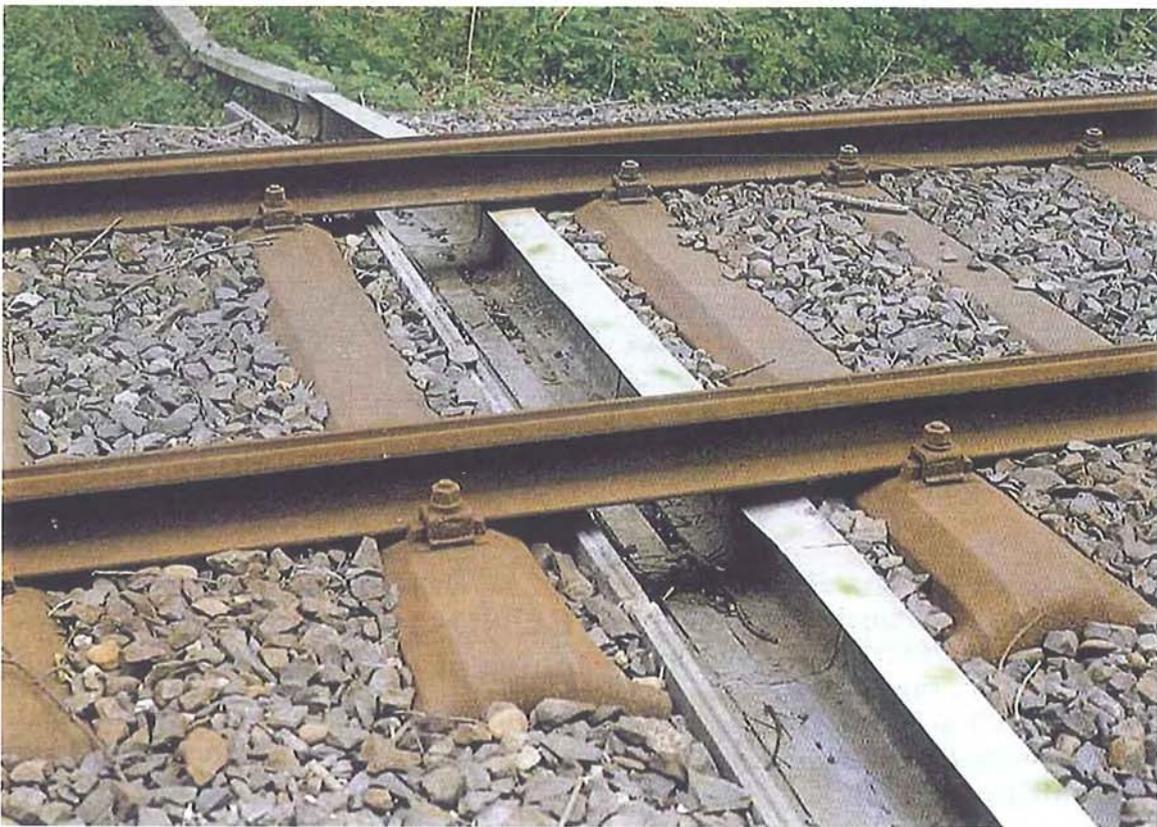


Figura 7.75 – Para anfibios y otros animales pequeños, se pueden utilizar tubos cortados por la mitad como pasos bajo las vías de ferrocarril, en los que no es posible situar pasos de mayores dimensiones. (Foto de U. Bolz)

7.4 Cómo evitar y reducir la mortalidad de animales

Las colisiones entre grandes mamíferos y vehículos son los efectos del tráfico sobre la fauna más evidentes para el usuario de las carreteras. Sin embargo, muchos animales pequeños mueren también atropellados en las carreteras y, además, algunas estructuras relacionadas con las vías de transporte pueden causar mortalidad en determinadas especies; por ejemplo, las aves rapaces pueden chocar contra los cables de las líneas de ferrocarril, algunos micromamíferos quedan atrapados en las arquetas de los drenajes, los insectos mueren al ser atraídos hacia las lámparas utilizadas para la iluminación de carreteras, etc. Este capítulo describe una extensa variedad de medidas diseñadas para reducir el número de animales muertos en la infraestructura de transporte o entorno a la misma. No se trata, ni mucho menos, de un inventario completamente exhaustivo, pero lo que se pretende es resaltar las posibles trampas que pueden provocar la muerte de los animales, y aportar información sobre los métodos para evitarlas.

7.4.1 Vallados perimetrales

Descripción general y objetivos

Los vallados se instalan para evitar que los animales puedan acceder a las líneas de ferrocarril o carreteras con alta intensidad de tráfico (Figura 7.76). Su principal objetivo es prevenir las colisiones entre grandes mamíferos y vehículos, pero también pueden reducir la mortalidad por atropello de otros animales de menores dimensiones. La desventaja de los vallados es que aumentan el efecto barrera y, por ello, siempre deben instalarse en combinación con pasos de fauna que garanticen que la mayor parte de las especies de referencia tengan oportunidad de cruzar la carretera o vía férrea por puntos seguros. Otra importante función de las vallas es la de guiar a los animales hacia estos pasos. En tramos de carretera con baja intensidad de tránsito, donde no existan problemas de seguridad viaria debido a colisiones con grandes mamíferos, no es recomendable la instalación de vallas, a no ser que se produzca una alta mortalidad de individuos de especies amenazadas. De lo contrario, el efecto barrera del vallado pudiera tener peores efectos para la supervivencia de las poblaciones a largo plazo que la mortalidad debida al tráfico.

Ubicación

- En general, las vallas para la fauna deben instalarse solo en aquellos tramos en los que la mortalidad de fauna a causa del tráfico es elevada, o en los que las colisiones con grandes mamíferos puedan



Figura 7.76 – Varios tipos de vallados para la fauna: Arriba: valla estándar en Suiza (Foto de V. Keller). Centro: valla alta con un hilo adicional en su extremo, en Noruega (Foto de B. Iuell). Abajo: valla con postes de madera en Hungría (Foto de J. Zsidakovits)

comportar riesgos para la seguridad viaria. Su instalación es recomendable en todas las autopistas, autovías y las líneas de ferrocarril de alta velocidad, ya que concentran una alta intensidad de tráfico. En las carreteras convencionales con una intensidad de tráfico menor de 10.000 vehículos/día, solo se recomienda instalarlas en los tramos de mayor riesgo.

- Al proyectar un vallado, es necesario analizar su entorno con el objeto de identificar otras posibles barreras que impidan el movimiento de los animales y evitar que se generen trampas en las que los animales puedan quedar cercados entre vallas u otras barreras.
- Las vallas deben colocarse siempre a ambos lados

de la infraestructura. Sus extremos son los sectores de mayor riesgo, ya que muchos animales se desplazan en paralelo a las vallas hasta encontrar el final y cruzar por ese punto, originando un punto conflictivo, con alto riesgo de que se produzcan atropellos o colisiones. Para evitarlo, es importante que los vallados finalicen en los accesos a puentes, viaductos o pasos de fauna que permitan el paso seguro de los animales.

- En vallados perimetrales discontinuos, colocados para proteger tramos con un alto índice de colisiones, el vallado deberá cubrir 500 m a cada lado del punto y finalizar en un sector de óptima visibilidad para los vehículos, que debe reforzarse con señalización que advierta a los usuarios de la carretera del alto riesgo del paso de animales silvestres por ese tramo.
- En las zonas en las que los hábitats se han reducido a pequeñas parcelas aisladas, se debe facilitar el acceso a cualquier fragmento de hábitat potencial. La valla hay que colocarla en estos casos tan cerca de la carretera como lo admita la normativa, para reducir la superficie de márgenes a los que no tendrán acceso los animales, y permitiendo con ello que puedan utilizar esa zona como hábitat o corredor de desplazamiento.
- Cuando la carretera discurre entre desmontes de elevada pendiente, la valla debe colocarse en la parte superior de los mismos, evitando que los animales se desplacen por los taludes. Sobre terraplenes, si el entorno está muy transformado por la actividad humana es preferible que la valla esté colocada también en su parte superior, tan cerca como sea posible de la carretera, para facilitar el acceso de los animales a los taludes de los terraplenes, que adecuadamente revegetados pueden constituir hábitats para algunas especies. Esta recomendación no es aplicable cuando la vía cruza un entorno natural, ya que puede causar efectos indeseables de aumento de mortalidad al atraer a los animales hacia los alrededores de la carretera.
- Un aspecto fundamental, teniendo en cuenta que las vallas ejercen una función de guía de desplazamiento de los animales, es un adecuado ajuste de las vallas a los accesos de los pasos de fauna y otras estructuras transversales potencialmente utilizables, como viaductos, drenajes adaptados, etc. Con ello se conseguirá conducir a los animales a esos puntos seguros de cruce (véase también apartados 7.2.1 y 7.3.2).

Diseño

Las vallas normalmente utilizadas para la fauna consisten en mallas sujetas con postes. La altura y el tamaño de la malla depende de las especies para las que se instale. Si se desea que constituya una barrera eficaz, una valla tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Debe tener una altura que los animales no puedan saltar.
- La malla tiene que ser suficientemente densa para impedir que los animales pasen por los huecos.
- Debe estar fijada al suelo para que los animales no puedan pasar por debajo.
- El vallado eléctrico es caro y requiere mucho mantenimiento. No es una opción que se pueda adoptar en tramos muy largos de carretera, pero se puede utilizar en pequeños tramos donde se produzcan problemas con grandes mamíferos, especialmente si se trata de especies amenazadas (se ha usado, por ejemplo, para prevenir el acceso de osos a las carreteras en Eslovenia). También se pueden utilizar de forma temporal, cuando se pone en funcionamiento una carretera, para evitar que los animales (especialmente los jabalíes) intenten levantar los vallados recién instalados.

Altura

- La altura la determinan las especies de referencia que existan en la zona en la que se instala el vallado:
 - Ciervo, gamo, alce: altura mínima: 2,2 m (preferiblemente entre 2,6 y 2,8 m)
 - Corzo, jabalí: altura mínima 1,5 m (preferiblemente entre 1,6 y 1,8 m).
- La altura debe medirse teniendo en cuenta los desniveles del terreno y por la parte por la que se

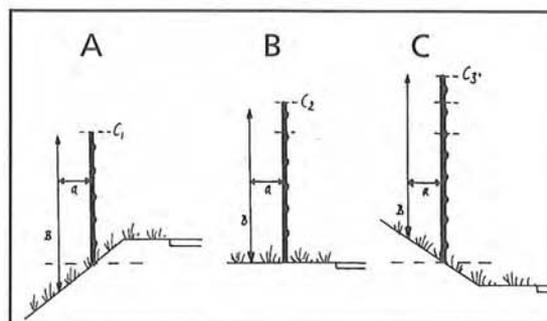


Figura 7.77 – La altura mínima de una valla se mide desde la parte por la que se acercan los animales. A: En terraplén, la valla puede tener una altura inferior a la de la misma malla situada en una superficie llana (caso B). C: En un desmonte, en cambio, la altura de la valla debe ser mayor. (After Müller & Berthoud 1996)

acercan los animales (Figura 7.77). Cuando la aproximación de estos se realiza cuesta abajo, es esencial tener en cuenta este aspecto.

- En zonas con nieve frecuente, la altura mínima debe garantizarse incluso en estas condiciones.

Malla metálica

- Se aconseja el uso de los vallados de malla denominada cinegética, con mayor densidad en la parte inferior (Figura 7.78). La distancia entre los alambres horizontales en la parte inferior debe ser entre 50 y 150 mm, y en la parte superior entre 150 y 200 mm. La distancia entre los alambres verticales será como máximo de 150 mm.
- El material más adecuado es el acero galvanizado de 2,5 mm de diámetro.
- La malla debe estar anclada al suelo, o preferiblemente enterrada entre 20 y 40 cm, en sectores con presencia de tejón y jabalí (especies que se encuentran en la mayor parte de hábitats forestales y también en mosaicos de bosques y cultivos). Estos animales pueden levantar con facilidad los vallados y entrar en las vías, comportando, en el caso del jabalí, un alto riesgo para la seguridad viaria. Para evitar que queden agujeros por los que puedan entrar los animales es importante también instalar mallas o rejillas protectoras en los puntos de intersección entre el vallado y los drenajes perimetrales.

Postes

- Los postes de fijación de la malla deben situarse en la parte interior del vallado, por el lado de la carretera, para evitar que la malla pueda ceder en caso de que reciba los golpes de grandes mamíferos que intenten saltarla.
- Los postes normalmente son metálicos, aunque en algunos países se colocan de madera en los espacios naturales.

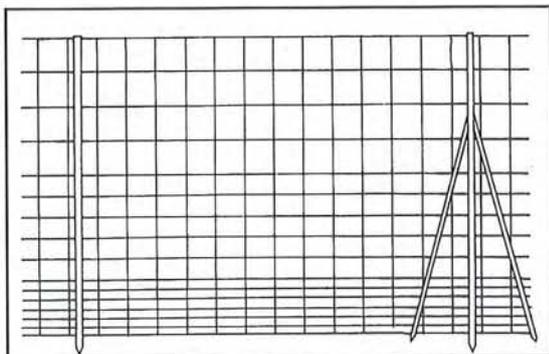


Figura 7.78 – La malla de los vallados cinegéticos es más densa en su base para impedir el paso de pequeños carnívoros, liebres, etc.

- Deben tener suficiente consistencia para soportar el impacto de un animal saltando contra la valla. Para ello se recomienda un diámetro de 10 cm si son de acero galvanizado, o de 12 cm si son de madera tratada para resistir a la intemperie.
- La parte inferior debe estar enterrada y reforzada con una base de hormigón, hasta una profundidad de 70 cm o más, en caso de que el terreno sea muy blando.
- En zonas con presencia de cérvidos, la distancia entre los postes debe ser de 4 a 6 m (hasta un máximo de 10 m en terrenos llanos). En presencia de jabalí, la distancia no debe superar los 4 m.

Salidas

- Cuando existe el peligro de que los animales queden atrapados en un tramo de carretera vallado (caso frecuente si los vallados son discontinuos), deben instalarse sistemas para permitir el retorno al exterior de la vía. Los más recomendables son simples rampas de tierra, como las que se han utilizado en el entorno de Doñana para facilitar la salida de lince (Figuras 7.79 y 7.80).
- En Holanda, y para el caso de los tejones, se han utilizado sistemas de salida que incorporan puertas que se abren permitiendo el retorno al exterior cuando un animal ejerce presión sobre ellas. No obstante, su uso se desaconseja, ya que requieren un alto mantenimiento, y se estropean fácilmente.



Figura 7.79 – Una salida sencilla construida con tocones de árboles para permitir al lince ibérico el retorno al exterior de la vía en caso de quedar atrapado en un tramo con vallado perimetral. Entorno de Doñana, Andalucía. (Foto de H. Bekker)



Figura 7.80 – Una rampa de salida construida con tierra, en la misma zona, puede ser utilizada por distintas especies (Foto de H. Bekker)

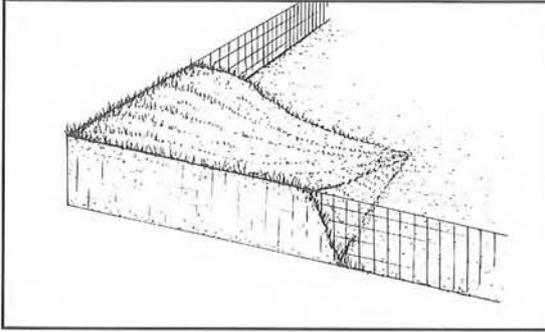


Figura 7.81 – Una rampa permite a los mamíferos saltar por encima de la valla cuando se quedan atrapados en la parte interior de la carretera en un tramo vallado.

Consideraciones adicionales para animales pequeños

- Los vallados de tipo cinegético no impiden el paso de anfibios, reptiles o mamíferos pequeños. En este caso las mallas deben reforzarse en su parte inferior con otras de distintas características, en función de cuales sean las especies afectadas. La instalación de estos refuerzos solo se justifica en tramos en los que exista un alto riesgo de que se produzca una elevada mortalidad de una determinada especie, y deben ir acompañados de pasos específicos que permitan el cruce de la carretera por puntos seguros.
- Para impedir el paso de micromamíferos, tortugas, lagartos y otros animales pequeños se colocará una malla de refuerzo de entre 40 y 60 cm en la parte inferior del vallado cinegético y por la parte exterior del mismo. La luz de la malla variará de 2 x 2 a 4 x 4 cm en función de las especies.
- Los camaleones, capaces de excavar y trepar, requieren vallas lisas, como las utilizadas para los anfibios, y enterradas en su base. Además, hay que evitar el contacto de la vegetación adyacente con el vallado, ya que pueden trepar por ella y alcanzar la parte superior del vallado.
- Para los anfibios se recomienda colocar vallas opacas que se han descrito con detalle en el apartado 7.3.7.

Mantenimiento

- Será necesario comprobar periódicamente los vallados, con periodicidad trimestral durante el primer año de funcionamiento de la vía, y posteriormente, al menos una vez al año. Teniendo en cuenta que el otoño es el período en el que se concentran el mayor número de colisiones de vehículos con cérvidos y jabalí, es importante

realizar las operaciones de mantenimiento justo antes de este período crítico.

- Debe prestarse especial atención a:
 - Agujeros o cortes producidos por los propios animales o por otras causas.
 - Las uniones de las mallas a los postes.
 - Las uniones entre los extremos de las vallas y las entradas de pasos de fauna, drenajes adaptados u otras estructuras de paso. El ajuste debe ser perfecto, coincidiendo el final de la valla con los accesos al paso.
 - Comprobar la buena fijación de la valla al suelo, o que se mantiene enterrada en toda su extensión. La presencia de senderos de paso de animales, o zonas con la valla levantada ponen en evidencia puntos por los que los animales han conseguido acceder a la calzada, y que requieren refuerzos adicionales de malla más resistente.
- Los desperfectos en las vallas deben repararse de manera inmediata para evitar que los animales se acostumbren a pasar por estos puntos.

Puntos de especial atención

- Las vallas son barreras muy eficaces para la mayoría de las especies, aunque no para todas. Los osos, los linces y las martas, todos ellos capaces de trepar por los vallados, son difíciles de detener. En el primer caso puede intentarse con refuerzos de vallado eléctrico en los tramos conflictivos, y en los otros casos, con vallas que tengan los extremos superiores doblados hacia el exterior, para dificultarles el salto al interior de la vía. Asimismo, los animales capaces de excavar, como los tejones y los jabalíes, requieren, como ya se ha indicado, que la parte inferior de la valla esté anclada al suelo, o mejor aún, enterrada.



Figura 7.82 – Los pasos canadienses se utilizan normalmente en los caminos agrícolas, como en este ejemplo en Dinamarca. Sin embargo, también se pueden utilizar cuando una carretera secundaria se une a una carretera principal. (Foto de B. Wandall)

- Los puntos en los que deban colocarse puertas para acceder a la parte interior de los tramos vallados, es importante que se diseñen de manera que no queden huecos entre el marco de la puerta y el suelo, ni entre la puerta y la valla.
- Una densa hilera de arbustos plantados en paralelo a la valla por su parte externa, puede evitar que los mamíferos intenten saltarla, aunque no deben utilizarse vegetales apetentes para herbívoros o frugívoros.
- Debe garantizarse que la instalación de vallados no dificulte el acceso a los pasos de fauna y otras estructuras transversales potencialmente utilizables para el paso de animales.
- En las intersecciones en los que una carretera secundaria se incorpora a una carretera principal que cuente con vallado perimetral, pueden instalarse pasos canadienses, consistentes en una pequeña zanja de hormigón cubierta con rejas metálicas (Figura 7.82). Este sistema impide el paso de ungulados pero es una trampa para animales pequeños que caen dentro y no pueden salir de la zanja. Para evitarlo es suficiente con la construcción de paredes laterales inclinadas, con una pendiente máxima de 30°, y rugosas.

7.4.2 Dispositivos artificiales de disuasión

Los disuasorios artificiales tienen como objetivo impedir que se acerquen los mamíferos a las carreteras o vías férreas, para reducir con ello el número de accidentes. Están pensados sobre todo para cérvidos. Existen varios sistemas, basados en los dispositivos ópticos, acústicos u olfativos. La experiencia demuestra que la eficacia de dichas medidas es normalmente muy limitada.

Reflectores/espejos

El uso de reflectores está muy extendido, aunque existen dudas sobre su efectividad. Consisten en varias tiras de metal colocadas alrededor de los árboles, reflectores o espejos adheridos a postes u otros elementos (Figura 7.83). Las luces de los vehículos que se acercan son reflejados hacia el exterior de la carretera, lo cual alerta a los animales y evita su acceso a la calzada. Este tipo de instalaciones son muy populares, ya que son baratas y fáciles de colocar. Sin embargo, los resultados de los estudios realizados durante los últimos 40 años en todo el mundo, no permiten demostrar la eficacia de los reflectores para ahuyentar la fauna y, además, estos dispositivos necesitan mucho mantenimiento.



Figura 7.83 – Un reflector de alerta para jabalí y cérvidos. Existen pocas evidencias sobre la eficacia de esta medida. (Foto de C. Rosell)

Dispositivos acústicos de disuasión

Son dispositivos que emiten ultrasonidos para ahuyentar a los mamíferos. Su eficacia no está probada.

Repelentes olfativos

Los repelentes olfativos son una nueva medida para evitar accidentes, que se aplica especialmente para cérvidos y jabalí. Se utilizan sustancias artificiales o naturales, normalmente una mezcla de aromas de humanos, lobos y otros animales depredadores que se inyectan en una resina sintética que actúa como soporte, y se aplica en los árboles y postes situados en los márgenes de carreteras (Figura 7.84). Las primeras



Figura 7.84 – Los repelentes se aplican en postes situados en los márgenes de ambos lados de la carretera. (Foto de C. Rosell)

pruebas realizadas con estos sistemas relativamente novedosos indican que el número de accidentes se reduce. Los seguimientos muestran que los ciervos están en alerta, con mayor atención, y por ello, perciben la aproximación de los vehículos. No obstante, pueden cruzar las carreteras por estos tramos cuando no pasa ningún vehículo. Algunas observaciones indican también que los ungulados cruzan con menor frecuencia por los tramos en los que se instala el repelente.

Par evitar que los animales se habitúen a los repelentes, solo deben aplicarse en los períodos más críticos, por ejemplo, durante la época de migración (en el caso de los alces) o de celo.

Son necesarios más seguimientos para establecer con precisión el efecto de estas medidas a largo plazo y los requerimientos de mantenimiento. También se desconoce el posible impacto sobre especies a las que no va dirigida esta medida.

7.4.3 Señalización de advertencia

Son señales que pretenden llamar la atención de los conductores para reducir su velocidad de circulación y, en consecuencia, el número y gravedad de los accidentes con los grandes mamíferos. Las señales se colocan en zonas donde se pueden producir los accidentes. También existen señales para anfibios, aves acuáticas y otros animales. Sin embargo, los estudios realizados han demostrado que los conductores no prestan mucha atención a las señales y no reducen la velocidad (Figura 7.85). Por ello, se han desarrollado otros sistemas que aumentan su eficacia (véase apartado 7.4.4).

Ubicación

- Las señales se deben colocar solo en los tramos en los que exista riesgo de colisiones, porque cuanto más numerosas son, menos atención prestan a ellas los conductores.



Figura 7.85 – Una señal advertidora de la presencia de alces, en Noruega. Estas señales no son muy eficaces, porque los conductores se acostumbran a ellas y no reducen la velocidad del vehículo. (Foto de S. Persson, Østlandets Blad)

- La instalación de las señales solo durante los períodos críticos, de mayor movimiento de fauna, puede aumentar su efectividad

Puntos de especial atención

- Las señales de aviso de presencia de animales combinadas con las de limitación de velocidad, pueden ser una medida más eficaz.
- La eficacia también aumenta si las señales son luminosas, o van acompañadas de señales de limitación de velocidad que emitan destellos solo durante los períodos de máxima actividad de los animales.

7.4.4 Señalización de advertencia con sensores de detección de fauna

Este tipo de señales de advertencia combinadas con sensores de calor que detectan la aproximación de animales, han mostrado su eficacia en la reducción del número de colisiones. Los sensores detectan la presencia de animales, especialmente de grandes mamíferos, a una distancia de unos 250 m y activan la iluminación destellante de las señales de advertencia, así como las de limitación de velocidad, hasta un mínimo de 50-60 km/h. El sistema puede alimentarse por energía solar (Figura 7.86).



Figura 7.86 – Sistema de aviso con sensores térmicos utilizado en Suiza, en un tramo en el que los ciervos acostumbran a cruzar la carretera. (Foto de H. Bekker)

Puntos de especial atención

- Hay que informar a las personas del funcionamiento del sistema, porque solo si saben que cuando se ilumina no solo indica un peligro potencial, sino la presencia de un animal, podrán adaptar su respuesta ante esa situación.
- Deben combinarse las señales de advertencia con las de limitación de la velocidad.
- Al igual que otros equipos técnicos, el sistema requiere controles periódicos.

7.4.5 Adaptación del hábitat en los márgenes de la infraestructura

Descripción general

La gestión de los hábitats de los márgenes de las infraestructuras de transporte puede contribuir a reducir las colisiones de vehículos con grandes mamíferos, y también el número de atropellos. Los principales objetivos son evitar la atracción de los animales a los márgenes de carreteras e intentar que sean más visibles a los conductores para que puedan tener un mayor tiempo de reacción.

Franjas deforestadas

El mantenimiento de una franja sin árboles ni arbustos de entre 3 y 10 m de distancia de los bordes de la carretera, reduce la presencia en ellos de algunas especies, por ejemplo, de cérvidos y, además, los animales que se encuentran en estas zonas son claramente visibles para los usuarios de la vía. Aunque esta medida se aplica principalmente para reducir el número de colisiones con grandes mamíferos, también puede ser efectiva para disminuir el atropello de otras especies. Esta medida está indicada en carreteras con baja intensidad de tráfico y vías férreas (Figura 7.87).

Los márgenes con vegetación herbácea concentran una mayor densidad de pequeños mamíferos, como los topillos, y por tanto, atraen a las aves rapaces, con lo cual incrementa su riesgo de mortalidad por atropello. Este efecto debe tenerse en cuenta cuando se plantea la posibilidad de aplicar esta medida

Elección de las plantas

Otra medida para evitar la atracción de animales a las carreteras es la elección adecuada de las especies que se utilizaran en las plantaciones. Aunque se aconseja el uso de plantas autóctonas, deben evitarse las especies que faciliten frutos comestibles u hojas especialmente apetentes para los herbívoros. Los aspectos a tener en cuenta son:

- Evitar la plantación de especies de arbustos y árboles, especialmente apetentes para corzos, gamos o ciervos.
- No plantar arbustos con bayas que atraen a los frugívoros (muchos carnívoros como el zorro o la garduña consumen frutos). Este tipo de especies es particularmente desaconsejable en las medianas, ya que las bayas también atraen a los pájaros, sobre todo durante la época de migración, y puede aumentar su riesgo de mortalidad por colisión con vehículos.
- Los incendios forestales se inician con frecuencia en los márgenes de las carreteras. Es importante evitar el uso de especies pirófitas para reducir el riesgo de que un incendio se propague a los hábitats adyacentes.

Hileras de árboles y arbustos

- Los setos plantados lo largo de las vallas pueden orientar a los animales hacia los pasos de fauna. Un espacio entre el seto y la valla facilita el mantenimiento de estas últimas.
- La plantación de hileras de arbustos a lo largo de la valla, reduce el peligro de que los grandes mamíferos intenten saltarla.
- Los árboles de gran tamaño, obligan a las aves a elevar su altura de vuelo. De esta forma, cruzan la carretera sin peligro de colisión con los vehículos. No obstante, las hileras de árboles o arbustos pueden atraer a los pájaros a los alrededores de la carretera, aumentando el riesgo de colisiones.



Figura 7.87 – El mantenimiento de una franja deforestada en los márgenes de la carretera, como se aprecia en este ejemplo en la E18, Akershus, en Noruega, permite que los conductores perciban la presencia de ungulados. La eliminación de la vegetación de la que se alimentan reduce el riesgo de que los animales acudan a comer al lado de las carreteras. (Foto de B. Luell)

7.4.6 Adaptación de la infraestructura

Pantallas acústicas

Normalmente las pantallas acústicas se instalan en los tramos de infraestructuras que cruzan áreas urbanas; no obstante también se aplican para reducir los niveles de ruido en espacios naturales, especialmente en marismas, en los que nidifican aves de especial interés. Independientemente de cual sea su objetivo, las pantallas conllevan un efecto secundario de incremento de la fragmentación del hábitat, ya que dificultan el desplazamiento de animales terrestres. Para reducir estos impactos es necesario tenerlos en cuenta en el diseño de la pantalla.

Pantallas opacas

Las pantallas acústicas construidas de hormigón, madera u otro tipo de material son verdaderas barreras para los animales. Si están situadas en el entorno natural y su longitud es importante, su instalación debe combinarse con estructuras que puedan ser utilizadas como pasos de fauna. En este caso las pantallas sirven también como estructuras de guía para que los animales localicen el paso. Esta medida debe tenerse en cuenta también con las pantallas acústicas situadas a lo largo de líneas de ferrocarril, que pueden impedir el acceso de los vertebrados pequeños tales como reptiles, que sin estas barreras no se habrían visto muy afectados por la vía férrea.

Las pantallas acústicas normalmente se construyen sobre una base sólida de hormigón. De esta forma aíslan completamente los márgenes de las carreteras de los hábitats circundantes y para los animales pequeños, sobre todo invertebrados, suponen un mayor obstáculo que las vallas convencionales. Una de las posibles soluciones para reducir este efecto barrera es la construcción de pequeñas aberturas en la base de las pantallas, aunque se desconoce con precisión los efectos de esta medida a nivel de dinámica de las poblaciones afectadas (Figura 7.88).



Figura 7.88 – Esta pantalla acústica tiene aberturas en la parte inferior para reducir el efecto barrera para los animales más pequeños. (Foto de H. Bekker)

Pantallas transparentes

Las pantallas transparentes se instalan en zonas en las que se desea que los conductores vean el paisaje. Son estructuras que acarream un mayor riesgo de accidentes para las aves, ya que no reconocen la pantalla como un obstáculo, sobre todo cuando la vegetación natural se puede ver a través del cristal, o cuando se reflejan arbustos o árboles. La colocación de marcas verticales puede reducir sustancialmente el número de colisiones (Figura 7.89).



Figura 7.89 – Pantalla acústica transparente en una autovía de Suiza con marcas verticales. (Foto de H. Schmid)

Diseño

- Las marcas verticales son las que ofrecen mejores resultados, aunque también se pueden utilizar otras formas.
- Las franjas deben tener 2 cm de ancho con una distancia máxima entre franjas de 10 cm (o 1 cm de ancho con una distancia entre ellas de 5 cm).
- Es mejor utilizar colores claros, porque se ven más durante las horas de baja intensidad de luz.
- Las marcas no debe causar ningún tipo de reflejos que puedan afectar a los conductores. Si se trata de adhesivos es fundamental que no sean de materiales reflectantes y se recomienda colocarlos en la parte exterior de la pantalla.
- La colocación de adhesivos que simulan siluetas de rapaces no es recomendable, ya que su efectividad es muy limitada. Solo se consigue evitar las colisiones si se colocan con mucha densidad (Figura 7.90).

Puntos de especial atención

- Siempre que sea posible, no se deben utilizar pantallas transparentes. Si se requiere que una pantalla ofrezca un aspecto más integrado en el entorno pueden utilizarse recursos como camuflar las pantallas opacas con plantas trepadoras o con plantaciones de arbustos.



Figura 7.90 – Unas pocas siluetas aisladas de aves rapaces no son eficaces para evitar las colisiones de aves con la pantalla. (Foto de C. Rosell)

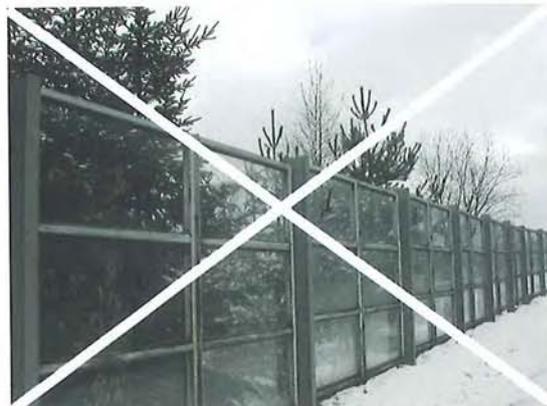


Figura 7.91 – Hay que evitar la plantación de árboles y arbustos cerca de las pantallas transparentes. (Foto de V. Hlavác)

- No se deben plantar árboles o arbustos cerca de las pantallas acústicas transparentes porque se aumenta el riesgo de colisiones (7.91).

Adaptación de los bordillos

Los bordillos verticales son con frecuencia demasiado altos para que puedan trepar los anfibios, algunos reptiles, o invertebrados. Si no encuentran una salida, los animales se quedan atrapados en el interior de las calzadas y mueren (Figura 7.92). Una alternativa muy económica es construir bordillos en rampa. Otra posibilidad es dejar huecos entre los bloques del bordillo, que pueden servir de escape y que son especialmente efectivos si se deja crecer en estos sectores la vegetación.

Rampas de escape de los drenajes perimetrales

Los huecos en las rejillas de los drenajes son demasiado grandes para evitar la caída de pequeños vertebrados o invertebrados, que pueden morir ahogados o debido a la imposibilidad de salir. Las rampas les pueden

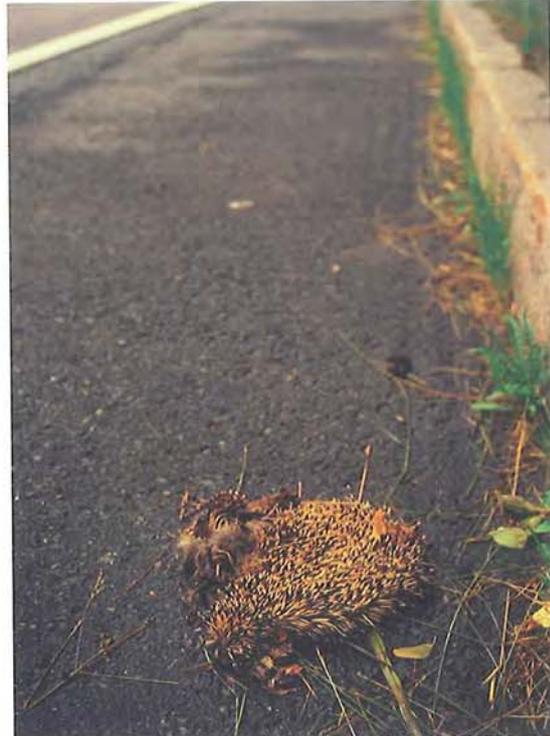


Figura 7.92 – Erizo que quedó atrapado en la calzada a causa del efecto barrera de un bordillo. (Foto de B. Iuell)

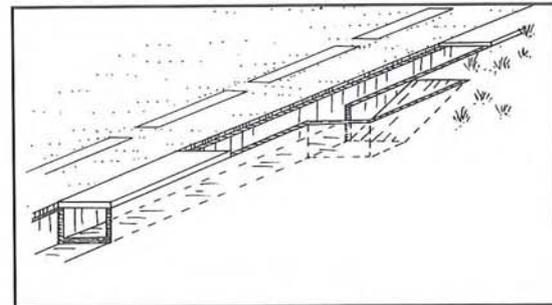


Figura 7.93 – Las rampas de escape de los drenajes perimetrales situadas cada 25 m sirven para evitar que estos elementos constituyan trampas mortales para los animales.

facilitar estructuras de escape (Figura 7.93). En drenajes situados cerca de zonas de reproducción de anfibios, la colocación de una rejilla metálica puede impedir que estos animales se caigan dentro. Los anfibios son los únicos animales que pueden sobrevivir en todos los elementos del sistema de drenaje, balsas de decantación, etc. y por tanto será necesario construirles rampas especiales de salidas en todos los elementos.

- Las rampas deben tener superficie rugosa para que los animales se puedan agarrar bien, y deben situarse aproximadamente cada 25 m.
- El final de la rampa debe tener 15 cm más de altura que la superficie adyacente.

Iluminación de las carreteras

Las luces de las carreteras atraen insectos y como consecuencia a murciélagos o aves nocturnas que los capturan. Esta situación provoca una alta mortalidad de insectos y de los animales que se alimentan de ellos.

Considerando estos efectos la iluminación debe limitarse a tramos en los que sea estrictamente necesario y donde no afecte al entorno natural. Para evitar la atracción de insectos se recomienda utilizar luces de sodio.

Salidas para la fauna en canales navegables

Descripción general

Los canales están en general protegidos contra la erosión por paredes prácticamente verticales. En los grandes canales navegables, para prevenir la erosión causada por las olas producidas por el viento y los barcos, la corriente en el río con frecuencia se protegen las orillas mediante muros. La falta de espacio en los terrenos adyacentes al canal impide con frecuencia, el uso de otras alternativas como márgenes con taludes laterales inclinados.

Muchos animales se ahogan porque no pueden salir del agua. Este problema es mayor cuando la parte superior del muro de protección está situado 0,2 m o más, por encima de la superficie del agua, y afecta a todos los mamíferos y también a las crías de las aves acuáticas.

Construyendo salidas se puede evitar que los animales se ahoguen. Existen dos soluciones posibles:

- La mejor solución es construir un muro completamente nuevo con una inclinación natural que permita el crecimiento de la vegetación natural, y que puede servir a la vez como hábitat y corredor para la fauna.
- Cuando no hay espacio para ello, el murete de protección se puede bajar por debajo del nivel del agua en algunos puntos para que los animales puedan salir.

Ubicación

Una importante frecuencia de aparición de animales ahogados puede ser una indicación de que el tramo afectado requiere una salida de fauna. Para definir una ubicación más precisa de la salida se debe identificar, por las huellas, los puntos en los que los animales intentan salir del agua. No obstante, no es fácil identificar el tramo concreto en el que se ahogan los animales, ya que los cadáveres son desplazados por la corriente a considerables distancias o desaparecen por la acción de animales carroñeros.



Figura 7.94 – Diferentes posibilidades de sistemas de salida para la fauna en canales en Holanda. El acondicionamiento de este tipo de rampas solo es posible cuando no supongan un riesgo para las embarcaciones. Las pueden utilizar una amplia diversidad de especies como tejones, corzos y patos. (Fotos de H. Bekker)

Diseño de taludes naturales

En países con un gran desarrollo de la red de canales navegables, como en Holanda, existen manuales específicos que facilitan instrucciones técnicas para este tipo de actuaciones. Las posibilidades son muy variadas, dependiendo del lugar, material, fuerza de las olas y corriente, pero todos ellos tratan de crear taludes estables con una pendiente y rugosidad que facilite la salida de animales que accidentalmente hayan caído al canal.

Diseño de las salidas de fauna

- Se pueden utilizar múltiples diseños dependiendo de la función y características del curso fluvial, y en función del tipo de embarcaciones que utilizan el canal, las corrientes, las especies que pueden resultar afectadas, etc (Figura 7.94).
- Las salidas se pueden colocar detrás o delante de los muros de protección.
- Los materiales de construcción pueden ser madera, acero o piedras.
- Respecto a las dimensiones, en los canales de los Países Bajos se recomienda la construcción de un gran número de salidas de 1 m de ancho, o un número inferior de 5-7 m de ancho.
- La distancia estándar entre las salidas que se recomienda en los Países Bajos es de 50 m.
- La plantación de vegetación alrededor de la salida puede servir para atraer a los animales para que naden hacia ella.
- Deben construirse salidas en ambos márgenes del canal.

Medidas de acompañamiento

- Alrededor de la salida debe haber vegetación que sirva de atracción y refugio para los animales. La vegetación debe estar integrada con el entorno.
- Las salidas para la fauna se pueden conectar con los pasos inferiores cuando una carretera paralela al canal supone un obstáculo.
- Las vallas o los setos se pueden utilizar como guías para localizar estos pasos inferiores.

Mantenimiento

- La acción de las olas puede deteriorar las salidas de fauna de los canales.
- En las salidas de fauna se acumulan residuos que flotan y que pueden dificultar la salida de los animales.

Un exhaustivo Manual holandés (CUR) contiene seis volúmenes sobre taludes ecológicos.

7.5 Otras medidas para la reducción del efecto barrera y la mortalidad

7.5.1 Adaptación del ancho de la carretera y reducción de la intensidad del tráfico

El efecto barrera que causan las carreteras en los animales pequeños está condicionado por dos factores; por una parte, la anchura de la superficie asfaltada, y por otra, la intensidad del tráfico de la vía. Existen distintas medidas que pueden beneficiar a la fauna reduciendo la incidencia de estos factores (Figura 7.95).

Reducir el ancho de la infraestructura

- Los caminos agrícolas y forestales sin asfaltar los pueden cruzar con más facilidad los animales pequeños, como por ejemplo los invertebrados, pequeños mamíferos o reptiles.
- En los caminos agrícolas, una alternativa al asfaltado de la pista es aplicar pavimento solo en dos franjas, manteniendo entre ambas una banda con sustrato natural, en la que se permita el crecimiento de vegetación herbácea que facilitará el desplazamiento de los animales.

Reducir el volumen de tráfico

- El cierre temporal de las carreteras es una medida que se puede utilizar cuando los animales solo cruzan una carretera durante una época determinada, por ejemplo durante períodos de migración. Es aplicable, por ejemplo, para proteger a los anfibios en su migración a los lugares de reproducción (en este caso el cierre temporal de la carretera debe realizarse durante las noches húmedas de primavera) o para permitir al reno desplazarse sin problemas a sus territorios de invierno (el cierre de la carretera se realiza durante el período crítico en los que los animales se desplazan).
- Cualquier otra medida aplicable para reducir el volumen de tráfico (pistas de un solo sentido, acceso restringido, etc.) también se puede utilizar para reducir los atropellos y colisiones con animales salvajes.

Reducir la velocidad de los vehículos

- Reduciendo el ancho de la carretera se consigue una reducción de la velocidad de circulación de los vehículos y del riesgo de colisiones con mamíferos. Esta medida se puede adoptar en carreteras locales con baja intensidad de tráfico.

- Limitar la velocidad de forma temporal o permanente en los puntos de alto riesgo puede contribuir a reducir el riesgo de colisiones con mamíferos.
- Cuando los accidentes se producen sobre todo por la noche, se puede limitar la velocidad sólo durante este periodo.
- En carreteras con poca intensidad de tráfico también es posible provocar la reducción de la velocidad mediante colocación de bandas rugosas.

7.5.2 Clausura de la infraestructura

La clausura de antiguas carreteras o vías férreas, se debe planificar en el momento en el que se proyectan

nuevas infraestructuras o se acondicionan las existentes. La eliminación de los tramos que queden en desuso y su completa restauración, permitirá recuperar hábitats para la fauna y puede contemplarse como una medida compensatoria de los impactos de la nueva infraestructura. En muchos casos, las infraestructuras antiguas no se eliminan completamente, sino que se acondicionan como carriles para bicicletas, senderos, etc. de manera que aunque siguen causando en cierta medida la fragmentación del hábitat, se reduce notablemente la intensidad de este efecto.

La clausura de carreteras o vías de ferrocarril en desuso, o poco utilizadas, debe formar parte del procedimiento de planificación general de infraestructuras (véase Capítulo 5).

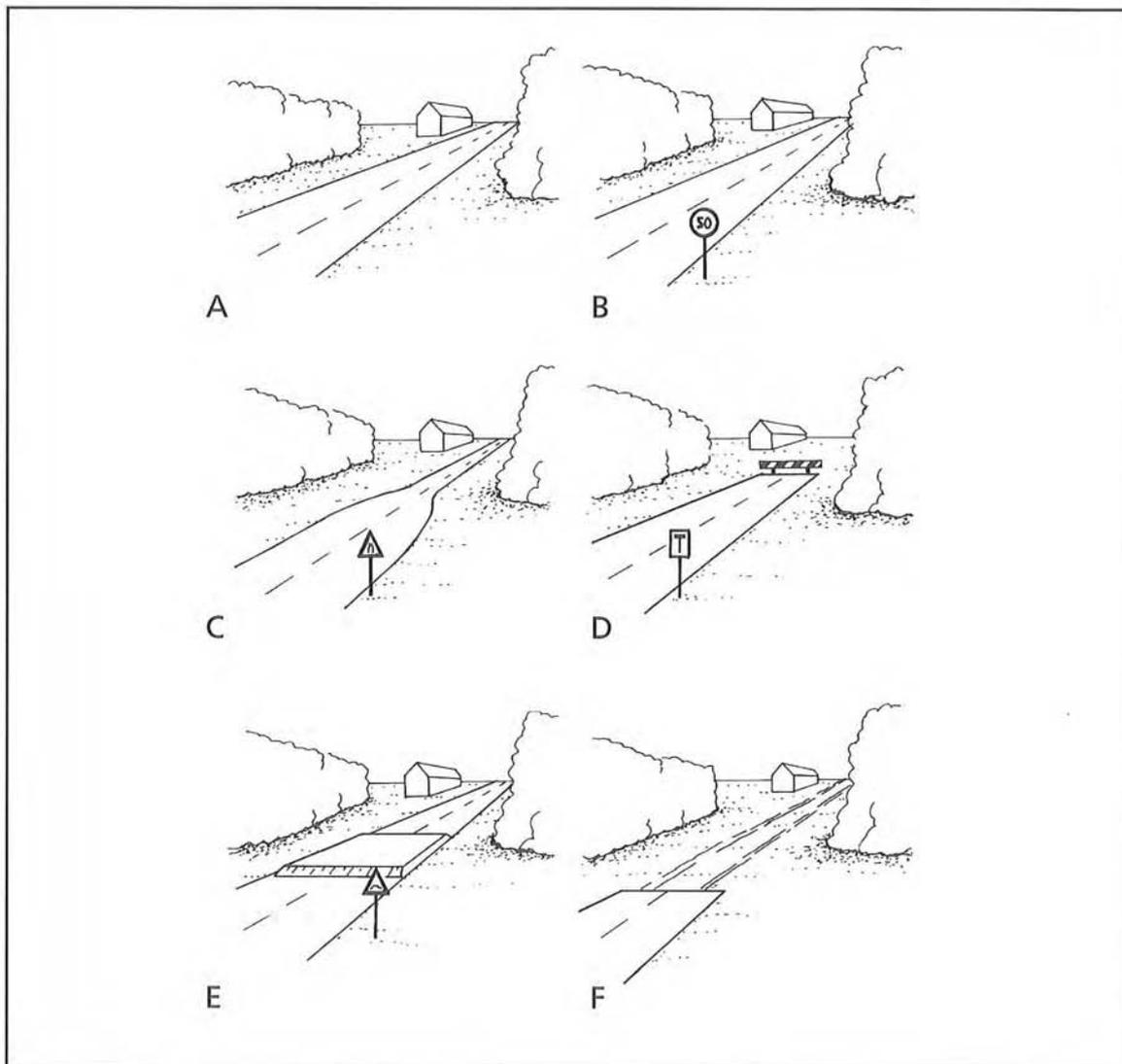
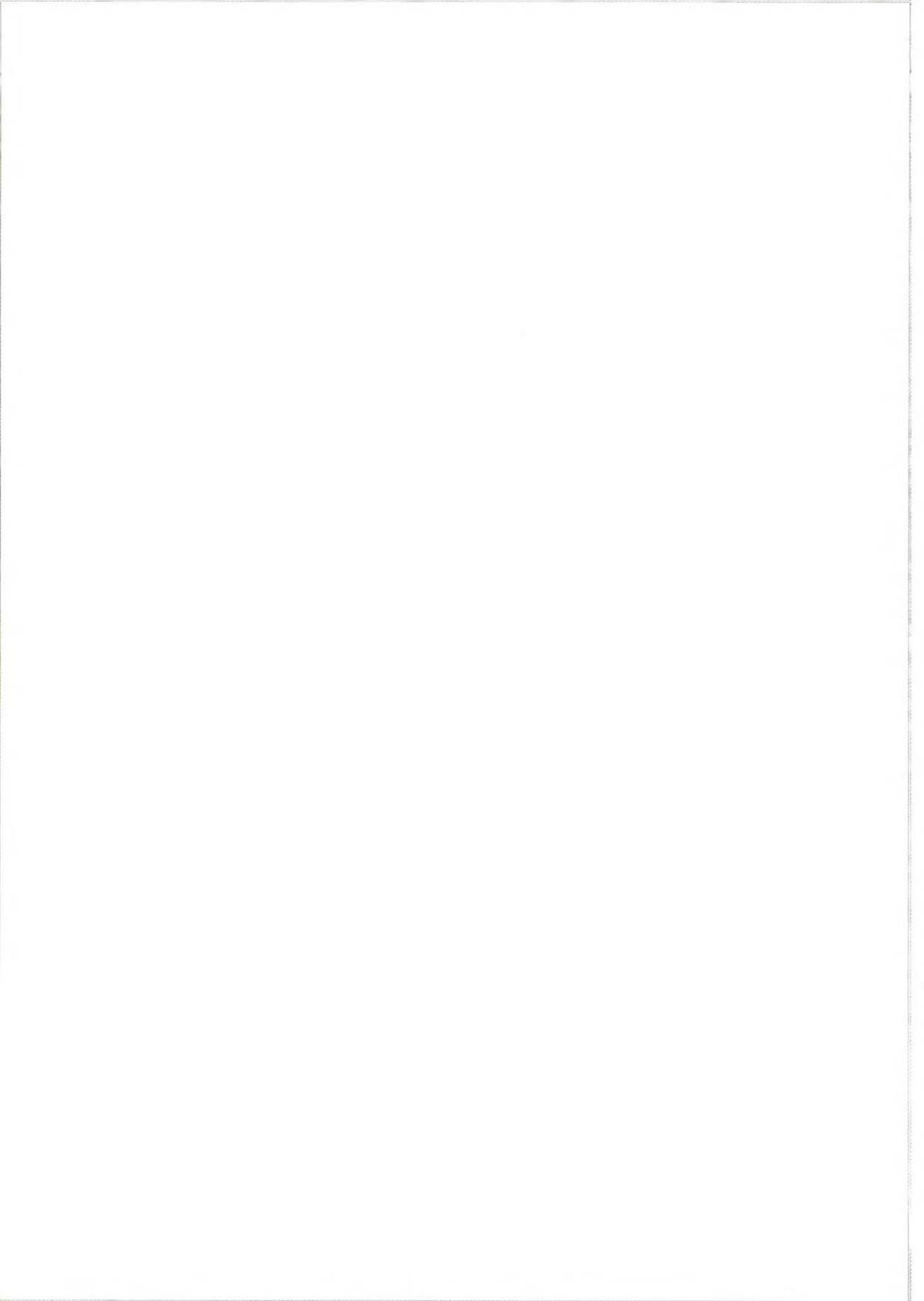


Figura 7.95 – Las medidas de reducción del tráfico reducen el efecto barrera y el número de atropellos y colisiones con animales. A: situación original. B: reducción del límite de velocidad. C: reducción de la velocidad y la intensidad del tráfico estrechando la carretera. D: cierre temporal de la carretera. E: reducción de la velocidad mediante rampas o bandas rugosas. F: sustitución de la carretera por dos franjas de pavimento que permite el paso de vehículos agrícolas y reduce el efecto barrera para los invertebrados.

8 Medidas compensatorias

8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción	Guía del usuario	Efectos de las infraestructuras	Desarrollo de soluciones integradas	Herramientas de planificación	Integración en el paisaje	Pasos de fauna	Medidas compensatorias	Seguimiento y evaluación	Anexos



8.1 El concepto de compensación ecológica

8.1.1 Compensación ecológica por pérdida y degradación del hábitat

A pesar de realizar una buena planificación y utilizar medidas para prevenir o corregir los impactos en los hábitats naturales, es imposible suprimir por completo los efectos negativos de la construcción de una infraestructura. Por ello, en muchos países se ha desarrollado el principio de la compensación ecológica, que conlleva la creación o restauración de hábitats, en lugares alternativos a los que se vean afectados por un determinado proyecto. Las medidas compensatorias se pueden definir como actuaciones de creación de hábitats, o restauración y mejora de las cualidades de hábitats ya existentes, para contrarrestar el daño ecológico causado por la construcción de las infraestructuras. Es recomendable que se alcance un balance entre las superficies restauradas, o de nueva creación, y las de hábitats perdidos o afectados por el proyecto, de manera que no se produzca ninguna pérdida de hábitats (lo que se denomina pérdida neta cero) y se beneficie a las especies asociadas.

Las medidas compensatorias intentan que se tenga más en cuenta la conservación de la biodiversidad ya en las fases iniciales de toma de decisiones y planificación de los proyectos (véase Capítulo 5), para que no se produzca ninguna pérdida de hábitats o especies durante su ejecución. La compensación ecológica es una solución para ser aplicada en casos excepcionales en los que la planificación y la aplicación de medidas correctoras no consigan evitar impactos significativos. En ningún caso debe contemplarse como un mecanismo que permita a los promotores conseguir los permisos para la ejecución de una infraestructura que cause graves perjuicios al medio ambiente, a cambio de actuaciones de compensación.

Dado que existen pocos instrumentos jurídicos, como por ejemplo expropiaciones, que permitan a los promotores adquirir terrenos donde aplicar las medidas de compensación, estas medidas se implementan de forma voluntaria, mediante acuerdos establecidos entre promotores de proyectos y organismos de conservación de la naturaleza, propietarios de terrenos y otros interesados.

8.1.2 La compensación como parte del concepto de conservación de la biodiversidad

Las medidas compensatorias son fundamentalmente diferentes de las de protección y mejora de los valores naturales (políticas de conservación de la naturaleza). Sin embargo, deben coincidir con los objetivos de conservación de la biodiversidad planteados a nivel nacional y local. A diferencia de las medidas correctoras o de integración paisajística, la compensación ecológica puede aplicarse en zonas más o menos alejadas del lugar donde se construye la infraestructura. Dado que los responsables de la ejecución de estas medidas son los promotores de los proyectos, los organismos encargados de la gestión de las infraestructuras deben procurar adquirir los terrenos necesarios, o bien llegar a acuerdos de custodia del territorio con sus propietarios, para garantizar el cumplimiento de los objetivos de las medidas compensatorias.

Una adecuada ubicación de la zona donde se desarrollarán medidas compensatorias –en áreas vinculadas a espacios protegidos o integradas en redes ecológicas–, permitirá conservar o mejorar la conectividad u otras funciones y relaciones ecológicas entre los espacios naturales de la región afectada por la infraestructura.

8.1.3 Ámbito de las medidas compensatorias

La forma en que se aplican las medidas compensatorias varía según los países y dependen del contexto cultural y geográfico. Una medida de compensación puede ser transformar los usos del suelo para poder desarrollar nuevos hábitats, por ejemplo bosques o humedales. La mejora del hábitat también se puede conseguir adaptando las actividades agrícolas y orientándolas a la conservación de la naturaleza, por ejemplo para que las zonas de cultivos de secano puedan albergar poblaciones de aves estepáricas. También se pueden crear humedales artificiales para atraer a anfibios y reptiles semi-acuáticos, aunque es posible que estos hábitats no alcancen la misma calidad ecológica y paisajística que los humedales naturales.

Las medidas compensatorias se pueden aplicar a todos los impactos posibles, incluyendo, además de la pérdida de hábitats, su degradación (los hábitats se conservan pero sufren impactos que los afectan) o la pérdida de funciones a causa de cambios en los flujos de nutrientes y energía.

8.2 Obligaciones legales

Las medidas compensatorias pueden aplicarse en cumplimiento de los requerimientos establecidos en legislación nacional e internacional, en normativas de carácter regional o nacional, o en acuerdos de aplicación voluntaria.

Legislación nacional e internacional

Se requerirán medidas compensatorias en aplicación de:

- a. Legislación internacional: Directiva 79/409/CEE de Aves (1979) y Directiva 92/43/CE, de Hábitats (1992). En particular el artículo 6 de la Directiva de Hábitats, establece claramente los casos en los que debe aplicarse la compensación ecológica, enmarcándolo en un claro contexto de excepcionalidad, puesto que el principio básico es el de no afectar a las especies y hábitats prioritarios establecidos en las Directivas indicadas.
- b. Legislación nacional sobre compensación, en caso de que exista (en España no se ha desarrollado ninguna reglamentación específica).

Principios subyacentes cuando las medidas de compensación las exige la legislación nacional o internacional:

- Las especies y hábitats amparados por la aplicación de reglamentos nacionales o internacionales, requieren atención particular en el proceso de planificación, y de la aplicación de severas restricciones en cuanto a su posible afectación. Sólo en casos extraordinarios es posible justificar la necesidad de realizar obras que afecten especies o áreas de especial interés de conservación (LIC, ZEPA o ENP).
- No es admisible la compensación económica, o de otro tipo, que no sea en términos de actuaciones de conservación y mejora de los valores naturales que sufren los impactos.
- La compensación ecológica debe abordar los aspectos físicos y funcionales del impacto.
- De acuerdo con las Directivas de Aves y de Hábitats, las medidas compensatorias se deben implementar antes de iniciarse la construcción de la infraestructura.

Políticas de compensación establecidas en normativas

En estos casos la compensación está regulada por normativas que pueden ser establecidas por políticas regionales o locales. Normalmente en estos casos se requieren medidas menos exigentes.

- En casos excepcionales, por necesidades económicas y sociales, se puede justificar la construcción del proyecto, con la condición de que se compense el daño ecológico.
- Se permiten compensaciones con valores ecológicos comparables a los naturales, así como compensaciones económicas (aunque estas últimas son menos aconsejables) que puedan ser invertidos con la misma finalidad.
- Las medidas de compensación no se tienen que implementar necesariamente antes de que se inicie el proyecto.

Medidas de compensación basadas en acuerdos voluntarios

En estos casos no existe una base normativa o legislativa y, por ello, se requieren condiciones menos exigentes en la aplicación del principio de compensación. En el proceso de evaluación se sopesan los intereses socioeconómicos y de conservación de la naturaleza y se establecen acuerdos voluntarios para compensar los impactos que no se hayan podido prevenir o corregir.

8.3 Aplicación de medidas compensatorias en el ámbito de los proyectos de infraestructuras

8.3.1 Casos en los que deben aplicarse medidas compensatorias

La adopción de medidas compensatorias es necesaria:

- Si se prevé que la construcción de una infraestructura que sea necesaria 'por razones imperiosas de interés público de primer orden' (según se establece textualmente en la Directiva Hábitats) va a tener un impacto significativo en lugares especialmente sensibles amparados por las Directivas de Aves y de Hábitats (es el caso en todos los Estados miembro de la UE), o por reglamentos nacionales (es el caso de Alemania y Suiza que disponen de legislación propia sobre la materia).
- Si se prevé que una construcción va a impactar áreas de alto interés de conservación para las cuales no se ha definido una política concreta de compensación.

8.3.2 Responsabilidad en la implementación de las medidas compensatorias

El organismo promotor del proyecto es el responsable de implementar el principio de compensación ecológica. Por tanto, son los promotores los que deben aportar los fondos para el desarrollo de las medidas compensatorias, y de las medidas complementarias que fuera necesario aplicar de manera alternativa, si los resultados iniciales no fueran satisfactorios.

8.3.3 Creación de nuevos hábitats

En varios países europeos se están aplicando técnicas de creación de hábitats (Figura 8.1 y 8.3). Uno de los casos más habituales es la conversión de terrenos agrícolas en hábitats con mayor riqueza ecológica (prados, bosques, humedales, etc.). El proceso supone:

- Adquirir los terrenos o llegar a acuerdos de gestión o custodia del territorio.



Figura 8.1 – Mosbulten (NL). Arriba: para compensar la pérdida de hábitat pantanoso debido a la construcción de la Autopista A50 Eindhoven-Oss, lo primero que se hizo fue transformar los terrenos agrícolas removiendo la capa superior. Debajo: una vez retirada la tierra del terreno cultivable, el hábitat pantanoso se puede desarrollar y atraer aves reproductoras. Las especies a las que se dirigen estas acciones son el carricero común y el rascón. (Fotos de H. Bekker)

- Realizar proyectos específicos para la creación del nuevo hábitat que definan las actuaciones a realizar.
- Adecuar el terreno (movimiento de tierras, modificaciones del nivel freático, sistemas de drenaje, etc).
- Realizar las plantaciones necesarias para la implantación del nuevo hábitat y llevar a cabo las actuaciones de mantenimiento que permitan que alcance características lo más próximas posibles a los hábitats naturales.
- Aplicar labores de mantenimiento y seguimiento del desarrollo de los nuevos hábitats.

8.3.4 Translocación

Con frecuencia, la creación de hábitats va acompañada de medidas de translocación, es decir, de traslado de suelo, vegetación o animales que se retiran del lugar que va a sufrir los impactos (sitio donante) a otro lugar nuevo en el que se va a reconstruir el hábitat (lugar receptor o de compensación). El sitio receptor debe ser adecuado y tener características similares al original en cuanto a tipo de sustrato y entorno. La ventaja que tiene esta técnica es que se consigue una regeneración más rápida y que permite alcanzar una composición de especies muy similar a la del hábitat inicial. Estas actuaciones están especialmente recomendadas para conservar ecotipos locales, preservando la diversidad genética del hábitat original. Sin embargo, es un método caro, que debe planificarse adecuadamente para escoger el momento más adecuado para efectuar los traslados de materiales y de animales.

8.3.5 Mejora del hábitat

La mejora del hábitat consiste en realizar actuaciones para mejorar la calidad ecológica de un hábitat ya existente, pero que presenta cierto grado de deterioro debido a impactos que pueden no estar directamente relacionados con las infraestructuras de transporte (Figura 8.2). La compensación incluye, en estos casos, medidas necesarias para mejorar la calidad del hábitat, aumentar su capacidad para cubrir los requerimientos de especies afectadas por la construcción de la nueva infraestructura, o reducir la incidencia de factores que causen mortalidad en estas especies. Algunos ejemplos de este tipo de actuaciones son la mejora de pastos, las modificaciones del nivel freático para favorecer la mejora de humedales, la instalación de estructuras de refugio para la fauna, la eliminación de impactos que puedan causar mortalidad en la fauna (por ejemplo, instalación de sistemas de prevención de electrocución en tendidos eléctricos), la permeabilización de barreras (por ejemplo, instalación de escaleras de peces o pasos para nutria en grandes presas), etc. La ventaja que tiene mejorar la calidad del hábitat existente es que

se actúa sobre hábitats ya funcionales, mejorando sus propiedades ecológicas, y por ello, es más fácil alcanzar los objetivos de conservación a corto plazo, que partiendo de hábitats de nueva creación.

8.3.6 Opciones de compensación

Las medidas compensatorias van dirigidas a conseguir que no se produzca ninguna pérdida neta de hábitats o poblaciones de especies de alto interés de conservación, y por ello deben conseguir la creación o mejora de hábitats de cualidades ecológicas similares a las del área impactada (compensación directa). Sin embargo, en ocasiones, se acepta también la creación de hábitats de cualidades comparables o, en el caso de que no sea factible compensar los daños causados a una determinada especie, se admiten medidas destinadas a favorecer otra de especial interés de conservación que también resulte perjudicada por la construcción de la infraestructura (compensación indirecta).

Las compensaciones se pueden realizar en el ámbito del proyecto de la infraestructura causante de los impactos, o en otro lugar. En todo caso, es recomendable realizarlas fuera de la zona que recibirá

el impacto directo de la nueva infraestructura, pero en sus proximidades, y dentro del mismo contexto ecológico y paisajístico. Si la zona donde se ejecutan las actuaciones de compensación está demasiado próxima a la infraestructura, sus valores ecológicos se verán afectados negativamente debido a las perturbaciones generadas por el ruido, los contaminantes, etc. La distancia a la que tienen efecto estos impactos varía en función del tipo de infraestructuras, de los hábitats adyacentes a la vía y de la sensibilidad de las especies a las que estén dirigidas las medidas de compensación. En definitiva, en algunas situaciones puede ser recomendable realizar las actuaciones de compensación en áreas situadas fuera del ámbito del proyecto, ya que con ello se evitan los impactos de las perturbaciones derivadas de la infraestructura y aumentan las posibilidades de conseguir buenos resultados.

8



Figura 8.2 – Ejemplo de mejora del hábitat: regeneración de un tramo del río Inn para compensar los impactos de la nueva carretera que afectó la vegetación de ribera protegida. Arriba: antes de la actuación y debajo: después de su ejecución. La compensación supuso el restablecimiento del hábitat de la llanura inundada que fue impactada por la extracción de gravas, Strada Bypass, Suiza. (Foto de Canton Graubünden Tiefbauamt)

Compensación directa o indirecta

La compensación directa incluye la sustitución de los hábitats afectados y sus funciones, con la creación o restauración de los mismos hábitats en otros lugares; la compensación indirecta en cambio, supone la sustitución con hábitats o funciones alternativos.

Ejemplos de medidas compensatorias para tres tipos de impactos:

1. Pérdida del hábitat: creación de áreas con hábitats de la misma superficie y calidad o mejora de la calidad de hábitats ya existentes del mismo tipo, que presenten un alto grado de degradación (en el ámbito de actuación del proyecto o fuera de él).
2. Degradación del hábitat: mejora del hábitat.
3. Aislamiento del hábitat: una combinación de ampliación y mejora de los hábitats no afectados y mejora de la conectividad entre los hábitats que han quedado aislados.

Ejemplos de medidas compensatorias de degradación del hábitat

1. Para mejorar la calidad de humedales afectados: elevar los niveles del freático fuera del ámbito del proyecto, compensando la disminución de los niveles que pueda haber causado la construcción de la infraestructura.
2. Para mejorar las condiciones de prados húmedos: aumentar la superficie inundada en el área adyacente a la infraestructura y realizar actuaciones para disminuir su nivel de ruido.

Ejemplos de medidas compensatorias por aislamiento del hábitat

1. Clausurar (o restringir el tránsito) en carreteras de baja intensidad de tránsito próximas a una nueva infraestructura.
2. Desarrollar nuevas áreas con hábitats de interés en terrenos situados entre fragmentos de hábitat constituyendo por tanto, unidades más grandes capaces de albergar una mayor biodiversidad.
3. Crear nuevos hábitats en terrenos que sirvan de conexión entre los hábitats de mayor interés, reforzando o restaurando las funciones de corredor ecológico.

8.3.7 Sostenibilidad de las medidas compensatorias

Para poder garantizar que las medidas compensatorias tengan éxito, deben tomarse en consideración las siguientes recomendaciones:

- Controlar el desarrollo de las medidas durante y después de la implementación (véase capítulo 9).
- Garantizar que los terrenos en los que se realicen las intervenciones mantienen su funcionalidad a largo plazo y se mantienen libres de presiones urbanísticas, incorporando regulaciones para conservar estos lugares en la planificación urbanística y en los planes de conservación locales.
- Transferir la gestión de los lugares de compensación a organizaciones de conservación bien establecidas.
- Incluir directrices sobre la gestión de la zona en el programa de medidas compensatorias. Cuanto menores sean los requerimientos de mantenimiento, mayores garantías ofrecerá la sostenibilidad de las actuaciones realizadas.
- Incluir en los programas de medidas compensatorias, medidas alternativas para poder aplicarlas en caso de que los resultados no sean satisfactorios.



Figura 8.3 – Ejemplo de una construcción de humedal en el Glen of the Downs, Irlanda. Arriba: durante la construcción, debajo: terminado. (Foto de R. Nairn)

8.4 Banco de medidas de mitigación

En los Estados Unidos, se introdujo el término de banco de medidas de mitigación hace diez años. Se elaboró un protocolo que permite acumular extensas zonas de terrenos de reserva en los que se desarrollan medidas para compensar los impactos producidos por el desarrollo de determinados proyectos. Los promotores pueden comprar terrenos en estas zonas para realizar actuaciones de compensación una vez aprobado un proyecto. Con ello se acelera el proceso de aprobación del proyecto, ya que se dispone con rapidez de una zona adecuada para llevar a cabo las medidas compensatorias. Esto reduce los costes de mitigación y compensación y aumenta el valor de las intervenciones, porque una zona de compensación extensa evita la fragmentación asociada a actuaciones aisladas y más pequeñas. Por los argumentos expuestos, y sobre todo por el hecho de que adquirir terrenos ya es muy difícil en algunas regiones, merece la pena considerar la aplicación de un banco de medidas de mitigación en algunas partes de Europa.

9 Seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas

9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción	Guía del usuario	Efectos de las infraestructuras	Desarrollo de soluciones integradas	Herramientas de planificación	Integración en el paisaje	Pasos de fauna	Medidas compensatorias	Seguimiento y evaluación	Anexos

9.1 Principios generales del seguimiento

9.1.1 Objetivos de un programa de seguimiento

La aplicación de un programa de seguimiento después de la construcción de una infraestructura de transporte es de crucial importancia, ya que es el mecanismo que nos permite controlar la efectividad de las medidas que se han aplicado para reducir los impactos derivados de la fragmentación de hábitats. Un programa de seguimiento adecuadamente diseñado permitirá alcanzar los siguientes objetivos:

- Detectar fallos en la instalación, construcción y mantenimiento de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias.
- Establecer si las medidas cumplen sus objetivos.
- Evaluar si las medidas garantizan la mitigación, a largo plazo, de los impactos de la infraestructura sobre las especies y los hábitats.

A corto plazo, el seguimiento contribuirá a establecer si se han aplicado suficientes medidas para mitigar los impactos en las fases de planificación y construcción de la infraestructura, que garanticen los mínimos efectos posibles sobre la fragmentación de las poblaciones de animales y sus hábitats.

La divulgación de los resultados del programa de seguimiento también es fundamental para contribuir al incremento de conocimientos y al desarrollo de las medidas más efectivas y con menores costes. Además, un objetivo fundamental del seguimiento es ayudar a los planificadores, proyectistas y constructores de infraestructuras a:

- Evitar la repetición de errores.
- Aportar nueva información para mejorar el diseño de las medidas.
- Identificar cuales son las medidas que presentan una óptima relación coste-beneficio.
- Ahorrar costes en los proyectos futuros.

Los procedimientos de seguimiento, normalmente incluidos en los llamados Planes de Vigilancia Ambiental (PVA), deberían integrarse en los programas de mantenimiento rutinarios que se aplican a las infraestructuras, contribuyendo así a la mejora de los diseños de las medidas para evitar o reducir los efectos de las infraestructuras de transporte sobre la fragmentación de hábitats.

9.1.2 Definición y tipos de seguimiento

El seguimiento consiste en la aplicación de controles periódicos de variables seleccionadas, y debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Las mediciones de control deben ser estandarizables.
- Las variables seleccionadas deben tener capacidad para registrar las propiedades de los sistemas afectados que se desea valorar y, siempre que sea posible, ser indicadoras del estado del conjunto de un proceso o sistema ecológico.
- La escala (temporal y espacial) de las mediciones debe ser la apropiada para la detección de los cambios que se investigan.

Sin establecer unos claros objetivos para el seguimiento, no pueden cumplirse estos requerimientos. Y el establecimiento de estos objetivos, así como la selección de métodos, estándares, escalas y criterios de evaluación de la efectividad de las medidas, requiere del conocimiento de la ecología de los sistemas afectados. Por ello, es fundamental la participación en el diseño de los programas de seguimiento de profesionales especializados en conservación de la naturaleza.

En este capítulo se han diferenciado dos tipos de seguimiento: el rutinario, destinado al control de determinadas medidas, y el ecológico, destinado a controlar los efectos de estas medidas en las especies y hábitats afectados.

Seguimiento rutinario de las medidas

Este tipo de seguimiento pone el énfasis en la inspección y control de la efectividad de las medidas, registrando variables locales tales como el número de animales que utilizan un paso o el número de animales atropellados por kilómetro de infraestructura. Con la aplicación de este seguimiento se verifica la calidad de los parámetros de construcción (materiales, dimensiones, localización, etc.) y de las actuaciones de mantenimiento, y se registran variables que permiten evaluar si se han cumplido los objetivos fijados para cada medida en particular. En caso de detectar fallos, se diseñan nuevas medidas destinadas a solventar estos problemas.

Este seguimiento puede ser aplicado a una medida en particular, pero es más recomendable aplicarlo al conjunto de medidas relacionadas que tienen un efecto combinado o una finalidad común (por ejemplo, incluyendo el conjunto de pasos de fauna y vallados perimetrales instalados en un determinado tramo de la infraestructura).

Los controles que conlleva este tipo de seguimiento pueden integrarse en los programas de mantenimiento de las infraestructuras, y en el Estado español es obligatoria su aplicación en todas las nuevas infraestructuras, en el marco de la aplicación del PVA. Incluyen actuaciones que no requieren una alta especialización de los profesionales que los llevan a cabo y pueden ejecutarse con presupuestos moderados.

Algunos ejemplos de actuaciones que pueden incluirse en este tipo de seguimiento son los siguientes:

- Identificar si los pasos de fauna son utilizados por las especies de referencia a las que van destinados, y determinar la frecuencia de uso. En caso de que los resultados sean negativos, debe intentar identificar las causas a las que se atribuye el fracaso y diseñar medidas para corregir las deficiencias detectadas (Figura 9.1).
- Registrar el número de atropellos y colisiones de vehículos con animales, localizar los tramos en los que tienen una mayor incidencia, identificar cuales son las especies más afectadas y proponer las medidas para reducir estos impactos.

- Identificar otros problemas que causen mortalidad en la fauna tales como arquetas de drenajes sin salidas adecuadas para la fauna o vallados incorrectamente instalados.
- Verificar la efectividad de barreras instaladas para reducir los niveles de ruido en los terrenos adyacentes a la infraestructura.
- Comprobar si los hábitats creados o restaurados en aplicación de un programa de medidas compensatorias se desarrollan adecuadamente, y verificar si están siendo colonizados por las especies de referencia para las cuales se han diseñado las actuaciones.

Seguimiento de los efectos de las medidas en las especies y los hábitats: seguimiento ecológico

Este tipo de seguimiento se centra en los efectos ecológicos de la aplicación de medidas de mitigación o compensación de impactos. Incluye programas destinados a investigar los efectos inducidos por la puesta en funcionamiento de una nueva infraestructura



Figura 9.1 – El control de la efectividad de los pasos de fauna o el registro de los atropellos que se producen en una determinada infraestructura para localizar los puntos negros en los que se produce una excesiva mortalidad, se puede llevar a cabo mediante procedimientos estandarizados incluidos en los programas de mantenimiento de infraestructuras. (Foto de C. Rosell)

en la diversidad genética, la distribución de especies o en la dinámica de las poblaciones, los hábitats y los paisajes. Consiste en el registro de la evolución de determinadas variables, patrones de paisaje y procesos ecológicos después de la puesta en funcionamiento de la infraestructura, y su comparación con las condiciones iniciales.

El seguimiento de parámetros ecológicos requiere la programación de controles a largo plazo y de una escala de trabajo que integre el conjunto de medidas que se hayan aplicado para prevenir los efectos sobre la fragmentación de hábitats, considerando los efectos sinérgicos que genera la introducción de una infraestructura de transporte en el conjunto de la red de vías de transporte ya existentes. Este tipo de seguimiento comporta unos costes importantes y debe ser llevado a cabo por personal especializado (Figura 9.2). Por esta razón, no puede ser aplicado de manera rutinaria en todas las nuevas infraestructuras, sino en casos excepcionales, por ejemplo cuando se construye un ecoducto para garantizar el mantenimiento de un corredor biológico que conecte áreas especialmente protegidas o poblaciones de especies amenazadas.

Algunos de los aspectos que pueden integrarse en un seguimiento ecológico son los siguientes:

- Incidencia de la mortalidad causada por una carretera o ferrocarril en la dinámica de las poblaciones de las especies de referencia, que puedan ser especialmente afectadas por la nueva infraestructura.
- Evaluación del efecto barrera global que ejerce la infraestructura, considerando el conjunto de la red viaria existente en una determinada zona, y teniendo en cuenta no solo la proporción de animales que mueren al intentar cruzar las vías, sino también la proporción de individuos que rechazan el cruce a consecuencia de las perturbaciones generadas por la vía (ruido, luces de los vehículos, etc.)
- Cambios en el comportamiento de determinadas especies indicadoras, a causa de las perturbaciones que genera la infraestructura.
- Efectos de los nuevos hábitats asociados a la infraestructura como los desmontes y los márgenes. Colonización por especies invasoras y consecuencias



Figura 9.2 – Los datos obtenidos mediante telemetría proporcionan información sobre el comportamiento de los animales en relación con la infraestructura de transporte, pero requieren una alta especialización e inversión en tiempo y dinero. Su aplicación no se enmarca en los procedimientos de control rutinario, pero puede ser muy útil en casos especiales en los que se requiere información detallada sobre los efectos de la vía en una determinada especie. (Foto de B.luell)

de la atracción de los predadores como las aves de presa a esas zonas.

- Cambios en el paisaje inducidos por la nueva infraestructura, con particular atención al grado de fragmentación del hábitat, distancia entre los fragmentos del mismo tipo de hábitat, etc.
- Variaciones en la distribución, composición y calidad de los hábitats adyacentes a las carreteras y ferrocarriles a causa de los contaminantes emitidos por los vehículos que circulan por las vías.

El seguimiento ecológico permite obtener información muy valiosa para aplicarla a la prevención de los impactos de nuevas infraestructuras y facilitar una mejor comprensión de los problemas que comporta la fragmentación de hábitats. El diseño y aplicación de estos programas de seguimiento debe ser llevado a cabo por especialistas en conservación de la diversidad biológica, ya que los procedimientos, escalas de trabajo y metodologías aplicables muestran una gran variación según las especies y los hábitats objeto de estudio. Por ello, este capítulo no describe este tipo de actuaciones y se centra en los programas de seguimiento rutinarios que deben ser aplicados en el marco del PVA y como parte integrante de la gestión y mantenimiento de las infraestructuras.

9.1.3 Consideraciones prácticas sobre el seguimiento

La principal lección aprendida a partir del análisis de los resultados de los programas de seguimiento que se han llevado a cabo, es que los seguimientos con mayores garantías de éxito y continuidad son los simples, de bajo coste económico, bien coordinados y que aplican métodos estandarizados.

El desarrollo de los programas de seguimiento está condicionado por razones prácticas de coste y viabilidad de su ejecución. Ello nos obliga a examinar con atención los objetivos de la evaluación, y seleccionar el seguimiento de parámetros que realmente sean relevantes para establecer la efectividad de una medida.

A continuación se indican algunas de las consideraciones prácticas que es necesario tener en cuenta durante la planificación de un seguimiento:

- Plantear una definición muy clara de los objetivos del programa de seguimiento. Ello es necesario para establecer que información será necesaria para la evaluación.
- Definir concretamente los objetivos para cada una de las especies o hábitats de referencia. La selección de estos elementos, en los que se centraran los controles, deben realizarla los profesionales que

diseñan los programas en base a su interés para la conservación, a nivel global o local, a su capacidad indicadora, etc.

- Aplicar, de manera sistemática, métodos y procedimientos de registro estandarizados. Es fundamental una adecuada formación y coordinación del personal participante en el seguimiento.
- Recopilar información sobre las condiciones iniciales (*base line*), antes del inicio de la construcción de la infraestructura, siempre que sea posible.
- Seleccionar especies de referencia con una reconocida sensibilidad a los efectos de la fragmentación de hábitats, y con capacidad indicadora, es decir, para reflejar las consecuencias de este impacto en el conjunto de un sistema natural. No es posible aplicar el seguimiento a todas las especies.
- Escoger una escala apropiada para el registro de las variables de las especies o los procesos que se pretende monitorizar.
- Garantizar que las labores de seguimiento se mantienen el tiempo necesario después de la puesta en funcionamiento de la infraestructura. El seguimiento implica la repetición periódica de los controles.
- Archivar los registros y resultados de seguimiento de manera segura y accesible a todos los agentes implicados en el desarrollo de las medidas de mitigación y compensación de impactos.
- Estandarizar los sistemas de archivo de la información y de toma de muestras. Sólo se podrán detectar los cambios si se han georeferenciado con precisión los puntos de muestreo.

Los cuatro puntos más destacables, que se comentan a continuación son: la fijación de los estándares que deben alcanzar los parámetros registrados para que una medida sea considerada efectiva, la selección de las especies de referencia, la definición de las escalas temporales y espaciales en las que se desarrollará el seguimiento y la selección de métodos de control.

Estándares para la evaluación del alcance de los objetivos

El seguimiento aporta resultados sobre las mediciones de determinadas variables que deben ser comparadas con un estándar fijado en el marco de la definición del programa de seguimiento. La existencia de estándares permitirá evaluar si una determinada medida se considera efectiva o no, y también permitirá establecer en que situaciones se requiere de la aplicación de medidas complementarias o correctoras de deficiencias,

para aumentar su efectividad. Siempre que sea posible, se utilizarán medidas cuantitativas para la fijación de estándares, o alternativamente, deberá basarse en criterios de clara interpretación. El hecho de que los objetivos de seguimiento se expresen como estándares facilita una buena base para la evaluación de la efectividad de las medidas.

Selección de especies indicadoras

Algunas medidas van especialmente dirigidas a paliar los efectos sobre determinadas especies amenazadas (por ejemplo el lince ibérico) o especialmente sensibles a la fragmentación de sus hábitats, debido a que requieren, para la conservación de sus poblaciones, de extensas áreas de hábitats continuos o del mantenimiento de corredores de dispersión (por ejemplo el lobo o el oso). En estos casos está claro que estas serán las especies de referencia.

No obstante, en otros casos, las medidas tienen objetivos más genéricos como reducir la pérdida de calidad de los hábitats adyacentes a las infraestructuras, o mantener las conexiones entre los hábitats fragmentados o las poblaciones que sufren el efecto barrera de las vías. En estos casos es necesario seleccionar las especies de referencia, también llamadas especies diana (ver Capítulo 5) en las cuales centrar las actividades de seguimiento. Las especies o grupos taxonómicos más adecuados para este tipo de seguimientos son las que cumplan los criterios siguientes:

- Capaces de mostrar cambios rápidos a consecuencia de la fragmentación de sus hábitats.
- Sobre los que se disponga de buenos conocimientos sobre su ecología y sobre métodos estándar para evaluar su presencia y abundancia.
- Fáciles de detectar e identificar.
- Con reconocida capacidad como indicadores del grado de fragmentación de hábitats y que, por tanto, pueden aportar información sobre el estado global del ecosistema.

Escala

La selección de adecuadas escalas temporales y espaciales de muestreo es un factor clave, para el que no existen reglas generales. Básicamente, necesitamos disponer de un muestreo de un área suficientemente grande, y de un tiempo suficientemente largo para permitirnos poner de relieve los cambios relevantes en la dinámica de las poblaciones o de los paisajes. Por ejemplo, la duración y periodicidad de los controles será completamente diferente si nos planteamos establecer si un paso de fauna está siendo utilizado por las especies de referencia o si lo que pretendemos es evaluar los efectos a largo plazo en la dinámica de

las poblaciones, inducidos por la aplicación de esta medida. Por ello, la selección de las escalas no puede ser generalizada y requiere de la participación de profesionales capaces de establecer cuales son las más adecuadas en cada situación.

Estandarización de las técnicas de seguimiento

Uno de los problemas que limita la comparación de los resultados de seguimiento en distintas situaciones es el hecho de que los métodos de seguimiento varían notablemente. Como consecuencia, la comparación de los resultados de distintos estudios se complica, y difícilmente pueden generalizarse sus conclusiones.

La aplicación de protocolos de seguimiento estándar es esencial para poder integrar los resultados de distintos seguimientos, establecer el grado de efectividad de las medidas que se han aplicado y conocer cuales son las medidas más efectivas y en que circunstancias. Un factor clave para conseguir este objetivo es la cooperación entre distintos equipos de trabajo.

9.2 Diseño de un programa de seguimiento

9.2.1 Del diseño a la aplicación de un programa de seguimiento

La aplicación del programa empieza en el momento en que la infraestructura entra en funcionamiento. No obstante, las bases para el seguimiento y el diseño del programa deben establecerse al inicio del desarrollo de la infraestructura, en la fase de proyecto y en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). El procedimiento global de diseño del programa se resume en la Figura 9.3, que destaca los tres pasos que se comentan a continuación.

Fase de planificación: diseño del programa de seguimiento y establecimiento de las condiciones iniciales

El conocimiento del estado inicial del medio, antes del comienzo de la construcción de la infraestructura, permite contrastar los resultados obtenidos durante la aplicación del seguimiento y es esencial para determinar las áreas y las especies de referencia en las que se centraran las actuaciones de control.

Las condiciones iniciales deben caracterizarse en la fase de estudios preliminares o, en particular, durante la evaluación de impacto. El Estudio de Impacto Ambiental es el documento más indicado para aportar la información detallada sobre los hábitats (tipo, distribución, grado de fragmentación, valor de conservación, etc.), las especies (distribución, sensibilidad a la fragmentación del hábitat, densidad, grado de amenaza, etc.) y sobre los conectores ecológicos (véase Capítulo 5) y para incorporar el programa de seguimiento. En el Estado español todos los aspectos de seguimiento se incluyen en el PVA. En este programa deben identificarse los objetivos concretos de las medidas que se aplicarán para la mitigación del impacto y las actividades que se deben llevar a cabo para evaluar su efectividad, con una detallada descripción de métodos, periodicidad de los controles, estándares, etc.

Fase de construcción: control de la instalación o construcción de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias

Las actuaciones de vigilancia ambiental durante la fase de construcción de la infraestructura pueden tener una destacable contribución para garantizar la efectividad de las medidas y, por ello, es importante

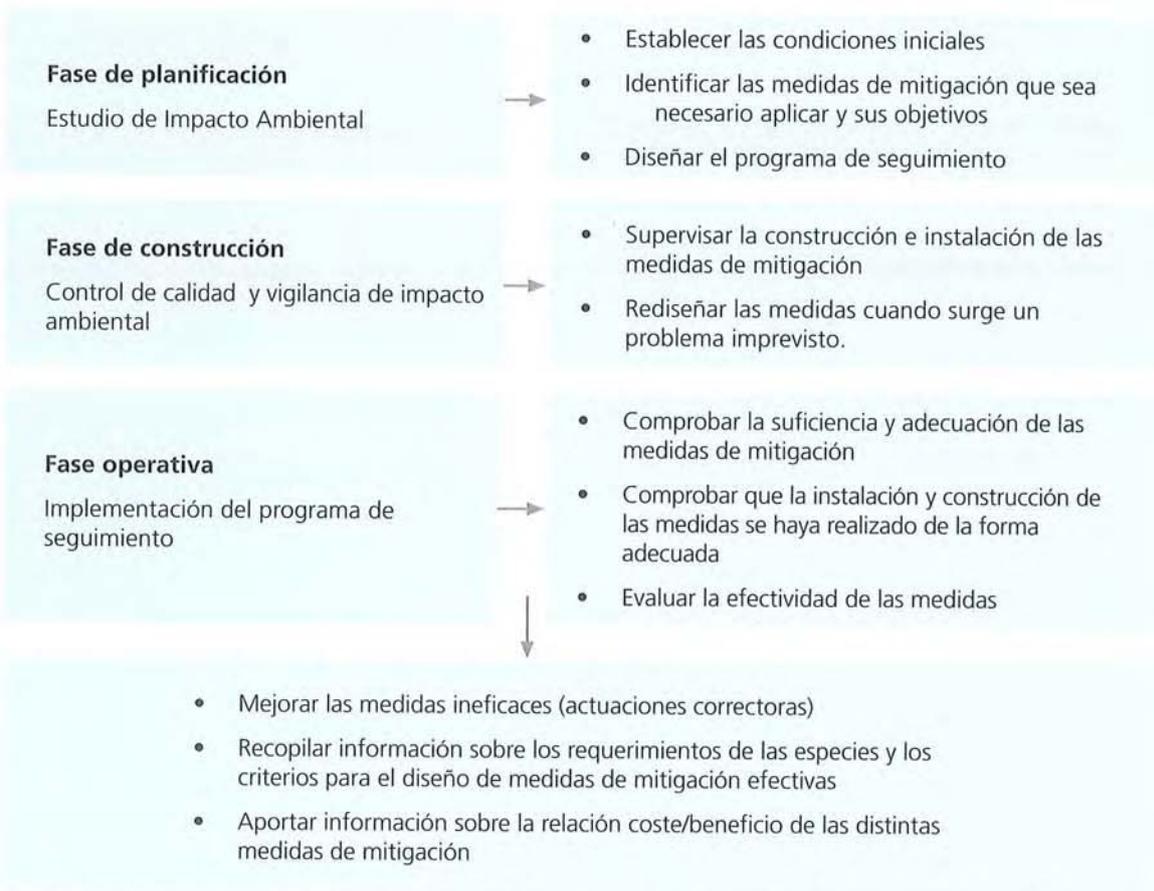


Figura 9.3 – Diseño y planificación del programa de seguimiento en el marco de las fases de un proyecto de infraestructura.

llevar a cabo inspecciones y actividades de control de calidad de los trabajos. Estas actuaciones ya se llevan a cabo de manera rutinaria en todas las nuevas infraestructuras construidas en el Estado español para evitar que se produzcan impactos negativos en los hábitats adyacentes al ámbito de afectación de la nueva vía, y para comprobar la correcta instalación y construcción de las medidas, que permitirá que sean realmente efectivas (véase apartado 9.3). Los controles llevados a cabo en esta fase también permiten detectar la aparición de nuevas condiciones o cambios inesperados que no hayan sido previstos durante la EIA y que requieran la definición de nuevas medidas o de la adaptación de las ya establecidas.

Fase de funcionamiento: aplicación de las actuaciones de seguimiento

La aplicación del programa de seguimiento debe iniciarse en el momento en el que la infraestructura entra en funcionamiento, y consiste en la ejecución de los controles que permitirán evaluar la efectividad de las medidas. Como se comenta en el próximo apartado, la divulgación de resultados debe contemplarse como una parte esencial del proceso.

9.2.2 Pasos para el diseño del programa de seguimiento

El procedimiento para diseñar un programa de seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas, se resume en los siguientes pasos (véase figura 9.4):

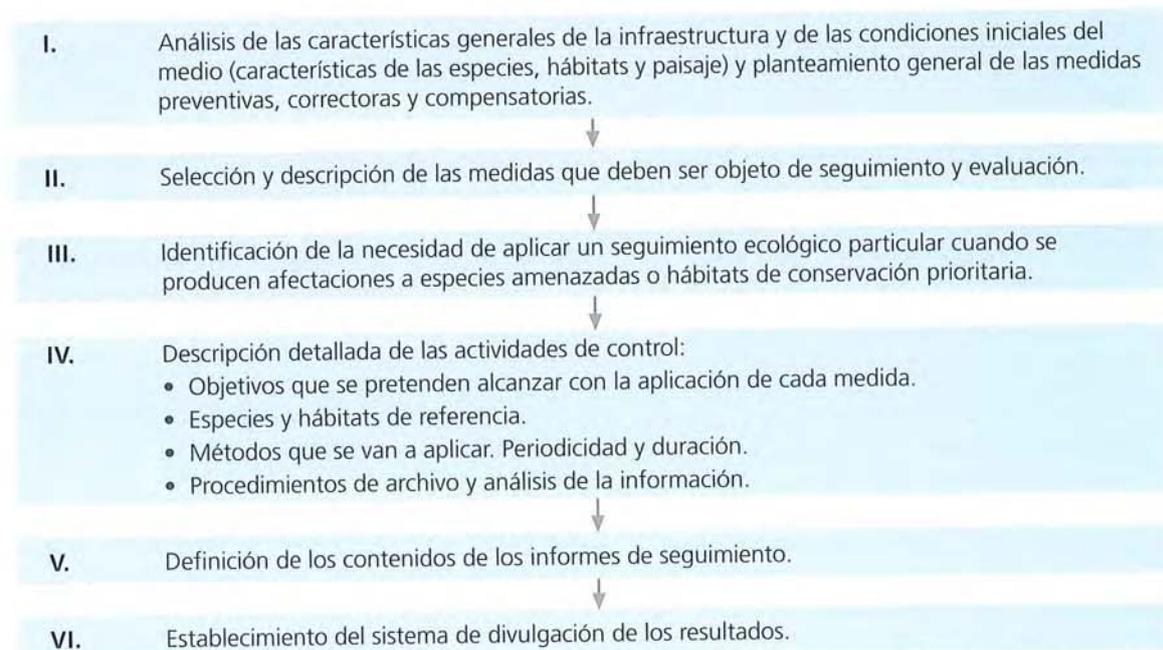


Figura 9.4 – Pasos para diseñar el programa de seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias

- I. Análisis de las características generales de la infraestructura, las condiciones iniciales del medio (características de las especies, los hábitats y el paisaje) y planteamiento general de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias.

Esta información se debe elaborar durante la fase de planificación y en especial durante la EIA. Consiste en la identificación del conjunto de medidas que serán necesarias para prevenir, corregir y compensar los impactos, describiendo las características técnicas, ubicación y objetivos de cada una de ellas. Requiere particular atención la identificación de hábitats especialmente sensibles o especies amenazadas, para identificar la necesidad de aplicar seguimientos específicos para alguna de ellas.

- II. Selección y descripción de las medidas que deben ser objeto de seguimiento y evaluación.

La selección de las medidas que se caracterizarán y a las que se aplicaran los controles debe realizarse en función de criterios claros e incluyendo todas las medidas cuya eficacia todavía no se haya establecido con precisión. También deben incluirse medidas representativas de todos los tipos aplicados para mitigar la fragmentación del hábitat, aunque se trate de actuaciones de efectividad contrastada, ya que las condiciones locales pueden afectar el buen funcionamiento de estas medidas.

III. Identificación de la necesidad de realizar un seguimiento ecológico particular cuando se producen afectaciones a especies amenazadas o hábitats de conservación prioritaria.

Este tipo de seguimiento requiere la aplicación de metodologías complejas y un seguimiento a largo plazo realizado por especialistas, y debe aplicarse cuando se afectan elementos de particular interés. Esta labor puede llevarse a cabo en paralelo al programa de seguimiento rutinario que se describe en este capítulo.

IV. Descripción detallada de las actividades de control.

La descripción detallada de las actuaciones de control de cada medida de mitigación (o sistema de medidas relacionadas) debe incluir los siguientes aspectos:

- El objetivo que se desea conseguir con la aplicación de la medida, describiendo las variables en las que se centrará la evaluación y los estándares utilizados, expresados, siempre que sea posible, como mediciones de variables cuantificables. La existencia de objetivos claros y cuantificables permitirá diagnosticar si los objetivos se cumplen o no.
- Especies o hábitats de referencia en los que se centrará la evaluación de la efectividad de la medida.
- Los protocolos de aplicación de los procedimientos de seguimiento, incluyendo las técnicas para obtener información (tan estandarizados como sea posible) y la duración y periodicidad de los controles. El seguimiento debe cubrir un período mínimo de tres años después de la puesta en funcionamiento de la infraestructura. La evaluación de la eficacia no debe basarse en los resultados obtenidos inmediatamente después del inicio de la fase operativa, porque los animales requieren de un período de adaptación a las nuevas condiciones.
- El procedimiento para archivar y analizar la información obtenida.
- También se recomienda incluir en el programa de seguimiento una sección describiendo el control de las actuaciones que debe llevarse a cabo durante la fase de construcción (véase apartado 9.3). Este es un paso importante para garantizar que las medidas no fallan debido al uso de materiales inadecuados o problemas de construcción.

V. Definición de los contenidos de los informes de seguimiento.

Estos informes deben incluir como mínimo los siguientes apartados:

- Una descripción de las medidas que se han controlado y los métodos aplicados.
- La identificación de las medidas que no han sido efectivas y las razones por las que no lo han sido.
- El diseño de nuevas medidas que se van a adoptar para mejorar la efectividad de las existentes.
- Recomendaciones para mejorar el diseño de futuras medidas.

VI. Establecimiento de un sistema para divulgar los resultados.

El diseño del programa de seguimiento debe establecer también los sistemas de divulgación de sus resultados para garantizar que todos los agentes interesados puedan acceder a la información.

El diseño del programa se debe realizar durante la fase de planificación (véase figura 9.3) pero las actividades de control y evaluación de las medidas se desarrollan durante la fase operativa, y normalmente las ejecutan profesionales que no han participado en el diseño del programa. Por tal razón, se recomienda que toda la información necesaria para llevar a cabo el programa de seguimiento se recoja en un documento único en el que se establezcan claramente las directrices para implementar las actuaciones de seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas.

Las organizaciones que gestionen la infraestructura de transporte en cada país o región deben aportar instrucciones detalladas, basadas en los procedimientos generales, para asegurar que los resultados que se obtengan en los seguimientos aplicados en distintos proyectos puedan ser comparables entre ellos.

9.3 Control de calidad durante la fase de construcción

En la mayoría de los países europeos se aplican planes de control de calidad durante la construcción de una infraestructura, que van destinados a garantizar la correcta construcción o instalación de todos los elementos de la infraestructura. En estos planes pueden incluirse protocolos de control ambiental con el objetivo de asegurar que se causa un mínimo impacto en los

hábitats y especies afectadas por los trabajos de construcción y para garantizar que las medidas se instalan en el sitio correcto, con materiales y dimensiones adecuadas, y con los acabados establecidos en las prescripciones técnicas establecidas en los Estudios de Impacto Ambiental. En el Estado español este conjunto de actividades destinadas a minimizar los impactos en la fase de construcción y garantizar una correcta ejecución de las medidas, se incluyen en los PVA.

Aunque la finalidad de este capítulo no es la descripción detallada de este tipo de actividades de seguimiento, a continuación se facilita una lista de chequeo en la que se destacan las principales actividades de control que pueden llevarse a cabo en esta fase.

Aspectos que deben ser objeto de control durante la fase de construcción:

- **Calendario de trabajos.** Controlar que los trabajos se desarrollen de manera que se evite la perturbación a lagunas y ríos durante el período de reproducción de anfibios, y freza de peces, así como en los alrededores de zonas de nidificación de aves (especialmente de rapaces) durante el período reproductor. Las perturbaciones que pueden afectar a las zonas de reproducción de anfibios y peces incluyen contaminación o alteración de las propiedades físicas o químicas del agua y movimientos de tierra. Las perturbaciones que afectan a las aves rapaces incluyen el movimiento de maquinaria, personas y ruidos, sobre todo el ruido causado por voladuras.
- **Ubicación de las medidas.** Controlar la correcta ubicación de las medidas, según las directrices establecidas en el EIA.
- **Vallas.** Controlar las dimensiones y tipo de malla. Después de la instalación se debe comprobar que la valla esté bien anclada al suelo, sin que los animales puedan pasar por debajo de ella.
- **Pasos para fauna.** Controlar que se han aplicado los materiales y dimensiones establecidas en las directrices especificadas en la EIA. Otros puntos que hay que comprobar son que la superficie esté correctamente acabada, con revegetaciones adecuadas, o con la instalación de otras estructuras (tocones, piedras, etc.). El acceso al paso es fundamental, así como la inclinación de las rampas de acceso (cuando estas existen), la continuidad de la vegetación desde los hábitats naturales circundantes al paso y el drenaje para evitar que el paso o sus accesos puedan quedar inundados. En muchas situaciones se observa que un inadecuado drenaje de los desmontes o terraplenes situados cerca de los pasos provoca su inundación durante la época de las lluvias.
- **Actividades de restauración.** Las áreas alteradas que serán objeto de restauración al terminar la fase de construcción, o bien las destinadas a aplicación de medidas compensatorias deben ser objeto de control durante la fase de obras. Los puntos de especial atención son la preparación de una capa de suelo adecuado (siempre que sea posible utilizando materiales procedentes de las proximidades de la infraestructura), la utilización de plantas idóneas (cuyo origen y características sean los indicados en la EIA) y la instalación de sistemas de irrigación y otros requerimientos para un correcto mantenimiento de las plantaciones. Las actividades de restauración también pueden incluir el traslado de animales que requerirán seguimientos específicos, como pueda ser el control de la población de origen, o de los aspectos sanitarios.
- **Evitar las perturbaciones y la contaminación de los hábitats adyacentes.** El conjunto de actividades que se realizan durante la construcción de una carretera o vía férrea puede comportar la contaminación de las aguas y terrenos adyacentes, y provocar molestias a la fauna debido al movimiento de maquinaria y personas. Existen un gran número de medidas que pueden aplicarse para prevenir estos impactos.

La definición de las actividades de control y vigilancia durante la fase de construcción se puede llevar a cabo dentro del marco de las normas estándar tales como ISO 14001 (para reducir al mínimo los impactos ambientales) e ISO 9000 (para asegurar la calidad de los trabajos).

9.4 Métodos de seguimiento de atropellos y de la utilización de pasos de fauna

Se puede aplicar una amplia variedad de técnicas al seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas. En este capítulo se describen los métodos más habituales para el registro de atropellos de animales en carreteras y para controlar el uso de pasos de fauna, aportando información sobre el procedimiento general, las variables que se registran, y los estándares que se aplicaran para evaluar si las medidas alcanzan o no los objetivos propuestos. Los estándares de referencia no son generalizables porque dependen de muchos factores tales como la densidad de población de las especies objeto de seguimiento, las características del paisaje o el objetivo de cada medida. Por esta razón, únicamente se aportan orientaciones sobre los estándares que pueden ser utilizados para la evaluación.

9.4.1. Registro de animales atropellados en carreteras o ferrocarriles

Objetivos

Identificar los tramos de la infraestructura de transporte en los que se produce una elevada mortalidad de fauna a causa de atropellos o colisiones con vehículos, y en los que se requerirán medidas complementarias para reducir la mortalidad y aumentar la seguridad viaria.

Descripción

Consiste en el control del número de individuos de diferentes especies que son víctimas de atropello o colisión con vehículos, en relación a la longitud del tramo inspeccionado de carretera o ferrocarril.

Procedimiento

Recorrer la carretera con un vehículo circulando a velocidad lenta (15 km/h) o caminar a lo largo de la vía férrea. El recorrido debe realizarse durante las primeras horas del día para evitar que las aves carroñeras, como las urracas, puedan llevarse los restos de los animales muertos.

Cuando se detecta la presencia de un cadáver debe identificarse la especie a la que pertenece y registrar las variables que se indican más adelante. La periodicidad de los muestreos varía dependiendo de la especie de referencia pero, en general, los controles destinados a obtener información de distintos grupos taxonómicos, deben repetirse al menos durante 10 a 15 días durante los períodos principales de desplazamiento de animales, que incluyen las migraciones reproductoras (caso de los anfibios), dispersión de jóvenes, celo y temporada de caza. En general, las épocas más recomendables son la primavera y el otoño. Es aconsejable dejar transcurrir de 3 a 5 días entre los sucesivos controles.

Variables a registrar

Fecha, hora de inicio y final del muestreo, longitud total del recorrido, parámetros meteorológicos y persona responsable de los muestreos. Para cada animal detectado es necesario identificar la especie o grupo taxonómico al que pertenece, el punto kilométrico de la carretera o ferrocarril donde ha sido encontrado, su posición exacta en la vía o carril, el grado de descomposición y otros datos complementarios como sexo, edad, etc. El registro de otras variables tales como la sección de la carretera, características del paisaje o presencia y estado de vallas perimetrales, son fundamentales para el análisis de los factores que contribuyen a aumentar la mortalidad.

Estándares

Es muy difícil alcanzar el objetivo de cero víctimas. El estándar que se recomienda aplicar es el número máximo de animales de cada especie (o grupo taxonómico) por kilómetro que se admitirá, y que debe establecerse en función del tamaño de las poblaciones y de su grado de amenaza. Si la mortalidad supera el estándar fijado en el programa de seguimiento se requerirá la aplicación urgente de medidas correctoras.

Observaciones y posibles variaciones

El control también se puede centrar en identificar los puntos negros donde mueren atropelladas determinadas especies de referencia, por ejemplo, anfibios, lince, lobos, nutrias, etc., y que permitirá conocer los puntos por los que estas especies cruzan las infraestructuras en sus rutas habituales de desplazamiento, o durante períodos de dispersión. Para detectar puntos negros de atropello de carnívoros es necesario controlar un gran extensión de vías y por ello es recomendable contar con la colaboración de voluntarios y del personal responsable del mantenimiento, que debe recibir una adecuada formación para realizar esta tarea. Un centro de coordinación debe recopilar toda la información y comprobar todos los puntos negros sobre el terreno, para determinar las medidas correctoras que se pueden aplicar en cada caso.

Es recomendable el uso de un GPS para permitir una óptima localización de los puntos de atropello y determinar con precisión la longitud del recorrido.

La inspección de animales atropellados es una actividad peligrosa ya que se realizan en las propias calzadas y sus márgenes. Por ello, se debe facilitar equipamiento especial (tanto para las personas como para los vehículos) para advertir a los conductores y garantizar seguridad de los trabajadores. Algunas vías requieren permisos especiales para realizar esta actividad. La manipulación de cadáveres no está exenta de riesgos sanitarios, por lo que debe realizarse con guantes.



Figura 9.5 – El registro de los animales atropellados o víctimas de colisiones permite identificar los lugares de cruce habitual donde se pueden aplicar medidas correctoras para reducir la mortalidad. En esta tarea pueden participar voluntarios y personal responsable del mantenimiento de la infraestructura que hayan recibido una adecuada formación. (Foto de V. Hlaváč)

9.4.2 Registro de la proporción de animales que logra cruzar una infraestructura de transporte

Objetivos

Identificar la proporción de individuos de una determinada especie que consiguen cruzar una infraestructura, en relación a los que se encuentran en los hábitats adyacentes. También se puede utilizar para determinar la proporción de animales que cruzan usando los pasos de fauna u otras estructuras transversales, en relación a los que pasan directamente por encima de la plataforma de la vía.

Descripción

Contar el número de animales registrados en una banda de terreno cercana a la infraestructura y determinar cuantos intentan cruzarla y cuantos la rehuyen.

Procedimiento

Este método está particularmente recomendado en regiones donde nieva con frecuencia. Durante el invierno, cuando la nieve cubre el terreno, caminar por el borde de la infraestructura, a unos 20 m aproximadamente de sus márgenes, registrando la longitud del recorrido realizado. A lo largo del transecto identificar, mediante las huellas, el número de individuos de distintas especies que han cruzado por la franja de terreno inspeccionada. Para cada uno de los animales detectados se determinará si ha cruzado la vía (y en que punto) o si ha rehuido cruzarla retornando a los hábitats de procedencia. Es importante realizar recorridos en ambos lados de la infraestructura, así como adaptar la distancia entre el recorrido y la infraestructura en función del área de campeo de las especies de referencia.

El muestreo se repetirá como mínimo cada 10 - 15 días, cuando la nieve cubra el suelo, y coincidiendo con períodos de máxima actividad de desplazamiento (por ejemplo, durante el celo y la temporada de caza).

Variables a registrar

Fecha, hora de inicio y final del muestreo, longitud total del recorrido, parámetros meteorológicos y persona responsable de los muestreos. Para cada una de las trazas de huellas detectados es necesario identificar la especie a la que pertenece y el comportamiento del animal en relación con la infraestructura.

Estándares

La relación de los individuos (por cada especie detectada) que logran cruzar con éxito la infraestructura en relación con los que la rehuyen. Este valor nos da idea del efecto barrera que ejerce la vía y debe contrastarse con la población total de cada especie en los alrededores de la infraestructura.

Observaciones y posibles variaciones

La clase de edad de los animales puede aproximarse en algunas casos por la longitud de la huella (aunque hay que aplicar con cautela estos métodos). Con ello se puede obtener información sobre las diferencias en comportamiento de los animales adultos residentes y los jóvenes en la fase de dispersión. En los países donde no es posible registrar las huellas en la nieve, este método puede ser adaptado instalando un lecho de materiales para el registro de huellas, como por ejemplo arena. No obstante, es un método mucho más costoso, y que supone una alteración del medio de estudio, ya que hay que quitar la vegetación y colocar una franja de al menos 50-100 cm de ancho a lo largo de la infraestructura (dependiendo de las especies de referencia).



Figura 9.6 – Las huellas en la nieve permiten saber los animales que cruzan o rehuyen cruzar la infraestructura. El método también se puede aplicar para controlar el comportamiento de los animales en su aproximación a los pasos de fauna. (Foto de V. Hlavác)

9.4.3 Control del uso de pasos de fauna registrando las huellas de los animales en arena o polvo de mármol

Objetivos

Evaluar el uso de los drenajes, los pasos de fauna y otras estructuras transversales que puedan ser utilizadas por diferentes especies de vertebrados, para cruzar la infraestructura.

Descripción

Este método consiste en detectar el paso de animales por las estructuras transversales, a partir de las huellas que dejan impresas en determinadas superficies, tales como arena, arcilla suelta o polvo de mármol, que se instalan en la base de la estructura que se desea controlar.

Procedimiento

Cubrir toda la anchura de un sector del centro del paso de fauna, o la estructura a controlar, con una fina capa de arena o polvo de mármol (se consiguen óptimos resultados con polvo de partículas de 800 μm de diámetro). La franja debe ser lo suficientemente ancha como para que los animales no puedan saltarla con facilidad; en los drenajes se recomienda una franja de 1 m de ancho, pero en paso superiores más grandes, debe alcanzar los 2 m. Un método alternativo, es extender dos franjas en las proximidades de cada una de las entradas, lo que permite comparar las huellas registradas en cada entrada y conocer el número de animales que han conseguido cruzar completamente el paso. El control de la franja de arena o polvo de mármol para identificar las huellas registradas se debe realizar diariamente. Una vez finalizado el registro, el material se debe alisar mediante un cepillo, añadiendo más arena o polvo de mármol si fuera necesario. El control hay que repetirlo durante 10 a 15 días durante los períodos principales de desplazamiento de animales como la dispersión de jóvenes, celo y temporada de caza. En general, las épocas más recomendables son la primavera y el otoño.

VARIABLES A REGISTRAR

Antes del inicio de los controles de cada paso de fauna, cada estructura debe caracterizarse indicando, como mínimo, su código de identificación, ubicación (PK), dimensiones, materiales de construcción y de la base, tipo de vegetación en los accesos, presencia de agua en las entradas o en el interior, sección de la vía en el tramo en el que se ubica la estructura, y si se trata de drenajes: existencia de arquetas, pozos, bajantes escalonados, etc.

Durante los controles de paso de fauna se indicará la fecha, hora de realización del control, parámetros meteorológicos y persona responsable de los muestreos. Para cada una de las huellas detectadas se identificará a que especie pertenece, la dirección, y sus dimensiones (como mínimo su longitud) indicando si se trata de huellas de la pata anterior o posterior. Ello permitirá en algunas ocasiones determinar si se trata de individuos jóvenes o adultos y el número mínimo de distintos individuos de la misma especie que está utilizando el paso.

Estándares

La evaluación con frecuencia se centra en determinar si en la estructura controlada se ha registrado, o no, el paso de una determinada especie de referencia.

La frecuencia de uso (el número de días con un resultado positivo en proporción al número de días de estudio) también se puede utilizar como estándar para evaluar el grado de efectividad de la estructura como paso de fauna.

Observaciones y posibles variaciones

El polvo de mármol absorbe el agua con facilidad con lo que el método solo se puede utilizar en tiempo seco (lo cual es difícil de conseguir en otoño o primavera). Cuando la superficie de la estructura se mantiene húmeda, se puede cubrir con una fina capa de plástico antes de extender el material.

Si se usa el polvo de mármol, es importante retirar completamente este material después de finalizar el período de controles, ya que puede dificultar el movimiento de pequeños animales, como caracoles, otros invertebrados e incluso anfibios.



Figura 9.7 – El polvo de mármol facilita una óptima superficie para registrar huellas. Sin embargo solo se puede utilizar en terrenos secos, porque se endurece con la humedad, y debe retirarse de las estructuras una vez finalizado el período de controles. (Foto de Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Fomento / Universidad Autónoma de Madrid)

9.4.4 Control del uso de los pasos de fauna registrando las huellas mediante lechos de tinta

Objetivos

Evaluar el uso por parte de diferentes especies de las plataformas laterales (llamados pasos de gato, *cat-walks*, o de nutria, *otter-walks*) instaladas en el interior de drenajes o pasos inferiores adaptados al paso de fauna.

Descripción

Consiste en detectar los animales que usan la plataforma de paso mediante el registro de las huellas que dejan impresas en una hoja de papel después de pasar por una base con tinta.

Procedimiento

En la parte media del paso se deposita una base que cubre completamente la anchura de la plataforma, y que consiste en una hoja de papel plastificado con los bordes ligeramente alzados que actúa como contenedor en el que se deposita una mezcla de parafina y polvo de carbón. A cada lado del contenedor se colocan hojas de papel en las que los animales dejan claramente impresas las huellas después del paso por la tinta. El depósito de tinta y los papeles deben cubrir todo el ancho del paso y una longitud de unos 100 cm. El papel hay que sustituirlo periódicamente (cada semana por ejemplo) y la identificación de las huellas puede realizarse con posterioridad.

VARIABLES A REGISTRAR

La fecha de colocación y retirada de los papeles, parámetros meteorológicos y persona responsable de los muestreos. Para cada una de las huellas detectadas se identificará a que especie pertenece y se anotarán sus dimensiones (como mínimo su longitud) indicando si se trata de huellas de la pata anterior o posterior. Ello permitirá en algunas ocasiones determinar si se trata de individuos jóvenes o adultos y el número mínimo de distintos individuos de la misma especie que está utilizando el paso.

Antes del inicio de los controles se deben caracterizar las estructuras tal como se ha identificado en el apartado 9.4.3.

Estándares

La evaluación con frecuencia se centra en determinar si en la estructura controlada se ha registrado, o no, el paso de una determinada especie de referencia.

La frecuencia de uso (el número de días con resultado positivo en proporción al número de días de estudio) también se puede utilizar como estándar para evaluar el grado de efectividad de la estructura como paso de fauna.

Observaciones y posibles variaciones

Este método facilita la medición de la longitud de la huella, permitiendo obtener información sobre el paso de distintos individuos de la misma especie.



Figura 9.8 – Lechos de tinta situados en el centro de una plataforma para facilitar el paso de fauna a través de un drenaje. En los papeles situados a cada lado del contenedor con tinta se pueden registrar las huellas de los animales que han usado el paso, desde pequeños mamíferos, como roedores o musarañas, hasta nutrias u otros mustélidos. (Foto de H. Bekker)

9.4.5 Control del uso de los pasos de fauna utilizando fotografías y vídeos

Objetivos

Detectar el uso de estructuras transversales (pasos inferiores o superiores, drenajes adaptados, etc.) por parte de distintas especies de vertebrados, y obtener información sobre el comportamiento de los animales que utilizan esas estructuras.

Descripción

Consiste en la obtención de imágenes de los animales que utilizan una estructura transversal durante la noche, mediante iluminación con infrarrojos, y utilizando sistemas fotográficos o de filmación activados por la intercepción de un haz de luz. El equipo se coloca en las entradas de los pasos y algunos dispositivos con baterías de larga duración, pueden estar operativos durante varios días. Esto tiene la ventaja de reducir las perturbaciones derivadas de la presencia humana que puede afectar a las especies más sensibles.

Procedimiento

Las cámaras y el sistema de iluminación con infrarrojos se deben instalar de manera que no interfieran en el acceso de los animales hacia el paso (en algunos casos se instalan en postes elevados o anclados a las paredes del paso). Para activar el inicio de las filmaciones o el disparo de la cámara fotográfica se puede instalar una célula fotoeléctrica con un haz de luz que cubra toda la anchura de la estructura, y que activa los dispositivos en el momento en el que un animal lo cruza. La altura del haz de luz debe ser adecuada para las especies que sean objeto de control.

Se recomienda camuflar las cámaras mediante vegetación u otros elementos naturales o en el interior de cajas protectoras que las protejan de la humedad o la lluvia. Es importante que se enmascare también el olor humano, ya que los mamíferos lo detectan aunque las cámaras estén ocultas.

Los sistemas deben funcionar al menos entre 10 y 15 días durante los períodos principales de desplazamiento de animales, que incluyen las de dispersión de jóvenes, celo y la temporada de caza. En general, las épocas más recomendables son la primavera y el otoño.

Variables a registrar

La fecha de colocación y retirada de los dispositivos, parámetros meteorológicos y persona responsable de los muestreos. La visualización de las fotografías o videos permitirá determinar las especies que han

utilizado el paso, la hora a la que lo han utilizado y, en el caso de las filmaciones, el comportamiento del animal. En algunos casos es posible determinar la clase de edad de los ejemplares e incluso identificarlos individualmente a partir del patrón de coloración o distribución de manchas en el pelaje.

Antes del inicio de los controles se deben caracterizar las estructuras tal como se ha identificado en el apartado 9.4.3.

Estándares

La evaluación con frecuencia se centra en determinar si en la estructura controlada se ha registrado, o no, el paso de una determinada especie de referencia.

La frecuencia de uso (el número de días con resultado positivo en proporción al número de días de estudio) también se puede utilizar como estándar para evaluar la efectividad de la estructura como paso de fauna.



Figura 9.9 – Las fotografías son un buen método para determinar las especies que utilizan los pasos de fauna. En algunos casos (por ejemplo, en la gineta) se pueden identificar los individuos a partir del patrón de manchas de su pelaje. (Foto de MINUARTIA)

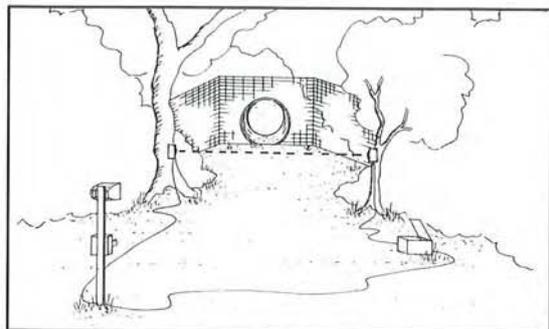


Figura 9.10 – Los animales que cruzan el haz de luz activan las cámaras de fotos o vídeo localizadas en las entradas o dentro de los pasos para fauna. Las cámaras digitales pueden guardar un gran número de imágenes y, actualmente, la duración de las baterías es el único factor que limita la duración del período de control.

Observaciones y posibles variaciones

Una de las principales ventajas de utilizar cámaras de vídeo es que se puede analizar el comportamiento de los animales y comprobar si el paso se utiliza sin retenciones, si los animales se muestran confiados, etc. El robo del equipo es uno de los mayores problemas, especialmente cuando se utiliza en pasos de fauna adaptados que también utilizan personas o vehículos.

9.4.6 Otros métodos de control del uso de los pasos de fauna

Contadores de paso

Se trata de dispositivos con sensores de infrarrojos utilizados normalmente como contadores del número de personas o animales que utilizan un sendero, y que pueden aplicarse también para el control de pasos de fauna. El movimiento de un animal activa el contador y, al final del período de muestreo, se puede obtener la información del número total de animales que han utilizado la estructura. Los detectores se instalan en las paredes de los pasos de fauna, o drenajes, y algunos se pueden adaptar para registrar el movimiento de animales pequeños, así como la fecha y la hora en que se produce cada uno de los cruces. La desventaja evidente de este método es que no se obtiene información sobre la especie que utiliza el paso, y por tanto, en los conteos se incluyen tanto los animales domésticos como la fauna silvestre.

Registro por determinación de pelo

A partir de los pelos de mamíferos se puede identificar la especie a la que pertenecen. Por ello, es posible determinar que especies están utilizando un paso instalando, en cada uno de sus lados y en su parte superior, postes impregnados de adhesivo, en los que quedan retenidos pelos de los animales que pasan por la estructura. El análisis de estos pelos por especialistas permitirá identificar a que especie pertenecen, e incluso la aplicación de métodos más complejos de análisis de ADN, permitirá conocer el número de individuos distintos que está utilizando el paso. Este método solo es aplicable a pequeños pasos o drenajes de dimensiones muy reducidas, y a la detección de mamíferos. Sin embargo, puede ser útil, por ejemplo, cuando lo que se desea estudiar es el paso de nutrias o tejones por pequeños drenajes.

Examen de los registros de las cámaras de seguridad o control del tráfico

Algunos pasos superiores, túneles o canales tienen cámaras de circuitos cerrados de televisión para controlar el tráfico y la seguridad. Las grabaciones a veces contienen imágenes de animales que han cruzado las estructuras controladas, o que están cerca de la

infraestructura de transporte. Esta información se puede utilizar para registrar el comportamiento del animal respecto a la infraestructura, o detectar el uso inadecuado de los pasos de fauna, por parte de vehículos o personas.

Trazado de los movimientos con la ayuda de tinta fluorescente

La tinta fluorescente se puede colocar en un pequeño contenedor muy plano situado en los accesos del paso de fauna. Los animales que cruzan el dispositivo impregnan sus pies con la tinta y, posteriormente, imprimen huellas fluorescentes, visibles durante la noche con una lámpara especial. Este método es especialmente útil para controlar los movimientos de pequeños mamíferos (roedores, musarañas, etc.) y tiene la ventaja de su bajo coste y simplicidad. Sin embargo, ha sido poco utilizado y se dispone de poca información sobre sus resultados.

Métodos basados en captura - recaptura

Este método se puede aplicar a especies con altas densidades de población que son fáciles de capturar, como los pequeños mamíferos. Las trampas (Shermann o similares) se colocan en los taludes de ambos lados de la infraestructura de transporte, los animales capturados se marcan y se liberan. Posteriormente, en las sucesivas recapturas de los individuos marcados, se podrá determinar si el área de campeo del animal se concentra en un solo lado de la vía, o si incluye ambos lados, lo cual implicará que es capaz de cruzar la infraestructura. Este método requiere de la aplicación de largos períodos de muestreo y no permite obtener información sobre el uso de pasos de fauna, ya que desconocemos los puntos por los que el animal ha cruzado.

Telemetría

La captura y colocación de emisores a los animales permite obtener información precisa sobre el uso del hábitat, su área de campeo, y su comportamiento en relación con las infraestructuras de transporte. Los transmisores se pueden instalar en collares, adherirlos al pelaje e incluso insertarlos bajo la piel o en el peritoneo de los animales. Este método solo se recomienda en el caso de que se requieran seguimientos de especies amenazadas, ya que tiene elevados costes y requiere de una gran inversión de tiempo para capturar los animales y controlar sus movimientos.

Ejemplo: Evaluación de la efectividad de pasos de fauna en la carretera C65, Eix Transversal de Cataluña.

Esta vía rápida con tres carriles e intersecciones segregadas, se abrió al tráfico en 1995, y es una de las primeras carreteras del Estado español que incluyó pasos inferiores y drenajes adaptados para el paso de fauna.

El programa de seguimiento se diseñó en 1992 y fue llevado a cabo un equipo de expertos de la Universidad de Barcelona con el apoyo del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, y de una fundación privada (Fundació La Caixa). Se trató de un programa destinado a evaluar la efectividad de pasos adaptados para la fauna y otras estructuras transversales potencialmente utilizables para el paso de animales, que tuvo un ámbito mucho más amplio que los seguimientos rutinarios que normalmente se ejecutan durante el período de aplicación del Plan de Vigilancia Ambiental. El control se centró en un tramo de 20 km que cruza dos zonas forestales de montaña, las Guilleries y el Parque Natural del Montseny, ambas propuestas para su inclusión en la Red Natura 2000 (Figura 9.11). En la caracterización de las condiciones iniciales se identificaron las especies de anfibios, reptiles y mamíferos presentes en la zona y se determinaron los tramos que concentraban una mayor densidad de determinadas especies o grupos taxonómicos.

Después de la puesta en funcionamiento de la carretera, se controlaron 29 estructuras (incluyendo drenajes, pasos inferiores y pasos superiores) en tres períodos distintos: seis meses, un año y dos años después de la apertura de la vía. Se aplicaron tres métodos de control para comprobar si los animales utilizaban las estructuras: la instalación de lechos de mármol en polvo en pasos permanentemente secos, la instalación de cámaras fotográficas en pasos con alto grado de humedad o por los que circulaba agua, y una cámara de video en un paso inferior para obtener información complementaria sobre el comportamiento de los animales. Paralelamente, se identificaron las características de cada estructura (longitud, ancho, alto, material de construcción, material de la base del paso, inclinación de los desmontes o terraplenes en las entradas, distancia a la vegetación natural del entorno, presencia de agua dentro del paso o en sus accesos, etc.) y también se registraron datos de su entorno (perfil de la carretera, tipo de vegetación y otros datos de los hábitats adyacentes).

El estándar que se aplicó para considerar que un paso de fauna era efectivo, fue la detección de la especie de referencia en el paso, al menos una vez durante cada período de control, que se estableció en un mínimo de 10 noches y durante el otoño. La elección de esta estación del año se debe a que es una de las que muestra una mayor movilidad de mamíferos debido, entre otros efectos, a que se trata de una época de caza, coincide con el celo del jabalí, etc.

Los resultados permitieron analizar el tipo de estructuras más intensamente utilizado y las variables que más contribuyen a explicar las diferencias de efectividad observadas. Durante el primer período de control (seis meses después de que se pusiera en funcionamiento la carretera) muchas estructuras no fueron utilizadas por las especies de referencia, pero algunos meses más tarde, la mayoría las utilizaban con frecuencia, poniendo de manifiesto la necesidad de dejar un período para que los animales adapten su comportamiento a la presencia del paso, antes de iniciar los controles de efectividad. Los resultados se compilaron en los informes anuales que fueron la base, junto con los informes de resultados de otros planes de seguimiento, para la elaboración de un manual sobre el diseño de los pasos para fauna. Este documento se elaboró con el objetivo de que las lecciones aprendidas a partir del seguimiento fueran aplicables al diseño de pasos de fauna más efectivos en las futuras infraestructuras.

(Fuente: Rosell y Velasco 1999)



Figura 9.11 –Vista de la carretera donde se realizó el programa de seguimiento. La vía cruza un espacio forestal propuesto para su inclusión en la Red Natura 2000. (Foto de C. Rosell)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción	Guía del usuario	Efectos de las infraestructuras	Desarrollo de soluciones integradas	Herramientas de planificación	Integración en el paisaje	Pasos de fauna	Medidas compensatorias	Seguimiento y evaluación	Anexos

Anexo 1: Abreviaturas

A	Austria
B	Bélgica
CH	Suiza
COST	Cooperación Europea en el Campo de la Investigación Técnica y Científica
CY	Chipre
CZ	República Checa
dBA	Decibelios
DK	Dinamarca
E	España
CE	Comisión Europea
ECNC	Centro Europeo para la Conservación de la Naturaleza
AEMA	Agencia Europea del Medio Ambiente
CEE	Comisión Económica Europea
EIA	Evaluación del Impacto Ambiental
UE	Unión Europea
F	Francia
SIG	Sistema de Información Geográfica
H	Hungría
I	Italia
IENE	Infra Eco Network Europe
ICOET	Conferencia Internacional sobre Ecología y Transporte
IRL	República de Irlanda
IUCN	Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza
N	Noruega
NL	Holanda
P	Portugal
RO	Rumania
S	Suecia
EAE	Evaluación Ambiental Estratégica
SETRA	Servicio de Estudios Técnicos de Carreteras y Autovías (F)
SLO	República de Eslovenia
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos
UK	Reino Unido
WWF	Fondo Mundial de la Naturaleza

Anexo 2: Participantes

El manual lo ha elaborado un grupo de trabajo bajo la dirección del Comité de Gestión de la Acción COST 341.

Grupo de trabajo redactor del manual

Bekker, Hans, chairman COST 341, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering Division (NL)

Iuell, Bjørn, coordinador del Manual, Environmental Strategy Division, Norwegian Public Roads Administration (N)

Cuperus, Ruud, Road and Hydraulic Engineering Division (NL)

Dufek, Jiri, Transport Research Centre (CZ)

Fry, Gary, Norwegian Institute for Nature Research (N)

Hicks, Claire, Highways Agency/Department for Transport (UK)

Hlavác, Václav, Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic (CZ)

Keller, Verena, Swiss Ornithological Institute (CH)

Rosell, Carme, Minuartia Estudis Ambientals (E)

Sangwine, Tony, Highways Agency/Department for Transport (UK)

Tørsløv, Niels, Vejdirektoratet, later København kommune (DK)

Wandall, Barbara le Maire, Vejdirektoratet (DK)

Comité de Gestión de la Acción COST 341

Álvarez, Georgina, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad (E)

Borer Blindenbacher, Franziska, DETEC (CH)

Burnei, George, National Road Administration, (RO)

Caramondani, Anna, A.L.A. Planning Partnership (CY)

Chevalier, Delphine, Chargée d'études Environnement, SETRA (F)

Damarad, Tatiana, ECNC (NL)

De Vries, Hans, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering Division (NL)

Farrall, Helena, GUECKO-Grupo de Ecologia/DCEA, Faculdade de Ciencias e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa (P)

Folkesson, Lennart, Swedish National Road and Transport Research Institute (S)

Mastrilli, Muriel, CETE Est/D4 (F)

Novaseliv, Razvan, Research Institute in Transports, INCERTRANS SA (RO)

O'Brien, Eugene J., University College Dublin, Dept. of Civil engineering (IRL)

Peymen, Johan, Institute of Nature Conservation (B)

Seiler, Andreas, Grimsö Wildlife Research Station, Dept. of Conservation Biology, University of Agricultural Sciences (S)

Simonyi, Ágnes, Nemzeti Autópalya Rt. (HU)

Trocme, Marguerite, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL (CH)

van Straaten, Dick, Institute of Nature Conservation (B)

Varga, Ildiko, Allami Kozuti Muszaki es Informacios Kht. (HU)

Listado de expertos

Los siguientes expertos han participado en la elaboración de este manual. La organización a la que pertenecen puede haber cambiado después de la producción del manual.

Adamec, Vladimir, Transport Research Centre (CZ)

Adamic, Miha, Universidad de Ljubljana, Biotechnical Faculty (SLO)

Albuquerque, Carlos, Instituto da Conservacao da Natureza (P)

Andersen, Ulla Rose, COWI Rådgivende Ingeniører (DK)

Cibien, Catherine, ECOTONE (F)

Cuénot, Etienne, SAPRR (F)

Dos Santos, Rui Ferreira, Ecological Economics and Management Centre, New University of Lisbon (P)

Eiby, Anne, COWI Rådgivende Ingeniører (DK)

Forte, Ana Luisa, Instituto da Conservacao da Natureza (P)

Georgii, Bertram, Vauna (D)

Hels, Tove, Danish Forest and Landscape Research Institute (DK)

Henriksen, Birgitte, Vejdirektoratet (DK)

Heynen, Daniela, Swiss Ornithological Institute (CH)

Hoenigsfeld, Marjana, Institute LUTRA (SLO)

Holzgang, Otto, Swiss Ornithological Institute (CH)

Jedlicka, Jiri, Transport Research Centre (CZ)

Jerina, Klemen University of Ljubljana, Biotechnical Faculty (SLO)

Kobler, Andrej, Slovenian Forestry Institute (SLO)

Léger, Karine, SAPRR (F)

Magnac-Winterton, Marie-Pierre, ECOTONE (F)

Mertl, Alexandr, Ecological Engineering (CZ)

Poboljsaj, Katja, Center za kartografijo favne in flore podružnica Ljubljana (SLO)

Righetti, Antonio, PiU Partner in Umweltfragen (CH)

Török, Katalin, Institute of Ecology and Botany, Hungarian Academy of Sciences (HU)

Zumbach, Silvia, Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz (CH)

Anexo 3: Páginas Web relacionadas con el tema

Centre for Transportation and the Environment (North Carolina, US)
www.itre.ncsu.edu/cte/cte

European Centre for Nature Conservation (ECNC)
www.ecnc.nl

European Environment Agency (EEA)
www.eea.eu.int

Forum of European National Highway Research Laboratories (FEHRL)
www.fehrl.org

Infra Eco Network Europe (IENE)
www.iene.info

International Conference on Ecology and Transportation (ICOET)
www.itre.ncsu.edu/cte/icoet

The World Conservation Union (IUCN)
www.iucn.org

Wildlife Crossings Toolkit (USDA Forest Service, US)
www.crossingstructures.org

Anexo 4: Manuales y directrices

Bélgica:

Claus, K. & Janssens, L. (1994). Vademecum Natuurtechniek Inrichting en Beheer van waterlopen; Vlaamse Gemeenschap departement Leefmilieu en Infrastructuur.

Econnection (2001). Doelmatigheidsanalyse van amfibieëntunnels en -geleidingswanden in Vlaanderen. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL-afdeling Algemeen Natuurbeleid - cel Natuurtechnische Milieubouw (NTMB) - Brussel, drie delen.

Janssens, L. & Claus, K. (1996). Vademecum Natuurtechniek Inrichting en Beheer van wegen; Vlaamse Gemeenschap departement Leefmilieu en Infrastructuur.

República Checa:

Hlaváč, V. & Anděl, P. (2002). On the permeability of road for wildlife a handbook. Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic and EVERNIA s.r.o. Liberec.

Dinamarca:

Danmarks Miljøundersøgelser, Skov- og Naturstyrelsen (1994). Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg - en vejledning (pjece).

Danmarks Miljøundersøgelser, Skov- og Naturstyrelsen (1998). Faunapassager i forbindelse med mindre vejanlæg - en vejledning (pjece).

Foreningen til dyrenes beskyttelse i Danmark. (1998). Kan vildtspejle og støjstriber sikre hjortedyr i trafikken? (pjece).

Hammershøj, M. & Madsen, A.B. (1998). Fragmentering og korridorer i landskabet . - en litteraturudredning. Danmarks Miljøundersøgelser. 112 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 232.

Jeppesen, J.L., Madsen, A.B., Mathiasen, R. & Gaardmand, B. (1998). Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg III. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 250.

Madsen, A.B. (1993). Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg II. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 82.

Madsen, A.B., Fyhn, H.W. & Prang, A. (1998). Trafikdræbte dyr i landskabsøkologisk planlægning og forskning . Danmarks Miljøundersøgelser. 42 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 228.

Salvig, J.C. (1991) Faunapassager i forbindelse med større vejanlæg. Danmarks Miljøundersøgelser. 67 s. Faglig rapport fra DMU nr. 28.

Vejdirektoratet (2000). Fauna- og menneskepassager, En vejledning. Copenhagen.

Francia:

Carsignol, J. (1999). The wildlife problem in motorway project development, construction and operation; CETE de l'Est, Metz.

Ministère de l'Équipement, du Transport, du Logement, du Tourisme et de la Mer - Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, - Direction de la Nature et des Paysages (DNP) (1994). La gestion extensive des dépendances vertes routières, intérêts écologiques, paysagers et économiques. 120 pp.

Sérvise d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) (1993). Passages pour la grande faune, Guide Technique. Bagneux.

Alemania:

DVWK (1984). Oekologische Aspekte bei Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern; Merkblätter 204.

Kramer-Rowold E.M. & A.R. Wolfgang (2001). Zur Effizienz von Wilddurchlässen an Strassen und Bahnlinien; Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen.

Verkehrsministerium, B. (1991). Amphibienschutz: Leitfaden für Schutzmassnahmen an Strassen. Schriftenreihe der Strassenbauverwaltung. Baden-Württemberg.

Italia:

Dinetti, M. (2000). Infrastructure ecologica. Manuale pratico per progettare e costruire le opere urbane ed extraurbane nel rispetto della conservazione della biodiversità, Il Verde Editoriale.

Noruega:

Direktoratet for Naturforvaltning (2002). Slipp fisken fram! Fiskens vandringsmulighet gjennom kulverter og stikkrenner. DN Handbok 22-2002.

Statens vegvesen Vegdirektoratet (1998).

Faunapassasjer. MISA-rapport 98/05.

Statens vegvesen Vegdirektoratet (2002). Veg og vilt. MISA-rapport 02/30.

España:

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, 4. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient. 95 pp. Barcelona.

Velasco, J.M., Yanes, M. & Suárez, F. (1995). El efecto barrera en los vertebrados. Medidas correctoras en las vías de comunicación. CEDEX. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. 139 pp. Madrid.

Suecia:

Artrikare vägkanter - en idéskrift (1996). Vägverket Publ 1996:074. Borlänge.

Assessment of the ecological effects of roads and railways. Recommendations for methodology (1996). Swedish National Road Administration Publication 1996:33E.

Bedömning av ekologiska effekter av vägar och järnvägar. Rekommendationer om arbetsätt (1996). Vägverket Publ 1996:33. Banverket Publ 1996:3. Borlänge.

Djurens väg över vägen. Brochure. Vägverket. Borlänge.

Folkesson, L. (1996). Ekologisk anpassning av vägar. Diskussion av bedömningsunderlag och åtgärder utifrån exemplet Rv 31 Bogla-Öggestorp. VTI meddelande 792. Linköping.

Handbok Miljökonsekvensbeskrivning inom vägsektorn. Del 2. Metodik (2002). Vägverket Publikation 2002:42. Borlänge.

Handbok Miljökonsekvensbeskrivning inom vägsektorn. Sammanfattande del (2002). Vägverket Publikation 2002:40. Borlänge.

Larsson, M.-O., Gunnarsson, B. & Stenström, J. (1995). Vägars och järnvägars påverkan på värdefull natur. Att bedöma effekter av väg- och järnvägsdragningar i områden med höga naturvärden. Naturcentrum. Vägverket Region Väst. Banverket Västra regionen. Länsstyrelsen i Göteborgs och Bohus län. Publ 1995:2. Göteborg.

Road culverts. Nature's path under the road. Brochure. Vägverket. Borlänge.

Seiler, A., Skage, O.R., Nilsson, S., Wallentinus, H.-G., & Folkesson, L. (1996). Ekologisk bedömning vid planering av vägar och järnvägar. Bakgrundsrapport. Banverket BV P 1996:2. Vägverket VV Publ 1996:32. Borlänge.

Sjölund, A., Eriksson, O., Persson, T. & Hammarqvist, J. (1999). Vägkantsfloran. Vägverket Publ 1999:40. Borlänge.

Uttrar och vägar. Brochure. Vägverket. Borlänge.

Suiza:

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1998). Innovative Wege für Natur und Landschaft : 7.02 Gewässerdurchlässe; 6.07 Schräge Randsteine; 6. 12

Viadukte und Fauna; 6.03 Naturierung von Brückenstrukturen, 6.14 Wildzäune; 6.09 Strassenentwässerung, Schriftenreihe Umwelt Nr. 281, CD-ROM, Bestellnummer 310.133 aussi en français.

Dumont, A.G., Berthoud, G., Tripet, M., Schneider, S., Dändliker, Durand, P., Ducommun, A. Müller, S. & Tille, M. (2000). Interactions entre les réseaux de la faune et des voies de circulation. Manuel. Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication / Office fédéral des routes. 194 pp. Lausanne.

Müller, S. & Berthoud, G. (1994/6). Sécurité faune/trafic; Manuel pratique à l'usage des ingénieurs civils. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département de génie civil, LAVOC, Lausanne.

Müller, S. & Berthoud, G. (1997). Fauna/Traffic Safety. Manual for Civil Engineers. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Département de génie civil, LAVOC, Lausanne. (English translation of Müller & Berthoud 1994/96).

Oggier, P. Righetti, A. Bonnard, L. (Eds., 2001) Zerschneidung von Lebensräumen durch Verkehrsinfrastrukturen COST 341. Schriftenreihe Umwelt 332, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; Bundesamt für Raumentwicklung; Bundesamt für Verkehr; Bundesamt für Strassen. Bern, 102 S.

Ryser, J. (1989). Amphibien und Verkehr, Teil 3. Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz (KARCH). Bern.

Schweizerische Gesellschaft für Wildtierbiologie (Hrsg.) (1995). Wildtiere, Strassenbau und Verkehr. Wildtierbiologische Information für die Praxis. Chur - Zürich.

Países Bajos:

CUR (1999). Natuurvriendelijke oevers: Aanpak en toepassingen. CUR-publicatie 200; CUR Civieltchnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (2001). Handboek Robuuste verbindingen, ecologische randvoorwaarden. Alterra, Wageningen.

NS Railinfrabeheer (1995). Naslagwerk fauna- en floravoorzieningen. Utrecht.

Oord, J. G. (1995). Handreiking maatregelen voor de fauna langs weg en water. Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde & Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden, Delft, Utrecht.

República de Irlanda:

National Roads Authority (2003). Guidelines for the treatment of ecology in national road schemes.

Byron, H (2000). Biodiversity and Environmental Impact Assessment: A Good Practice Guide for Road Schemes, The RSPB, WWF-UK, English Nature and the Wildlife Trusts, Sandy, Bedfordshire.

Dormouse Conservation Handbook. English Nature, Peterborough.

Ecoscope Applied Ecologists (2001). Highways and Birds: A best practice guide, Highways Agency & Ecoscope Applied Ecologists, St Ives, Cambridgeshire.

English Nature (1996). The significance of secondary effects from roads and road transport on nature conservation, English Nature Research Report No 178, Peterborough, UK.

English Nature (1999). Water Vole -Guidance for planners and developers, Peterborough, UK.

English Nature (1999). Badgers - Guidelines for developers. Peterborough, UK.

Grogan, A., Philcox, C. & Macdonald, D. (2001). Nature Conservation and Roads: Advice in relation to otters, Highways Agency & Wildcru, Oxford, UK.

Highways Agency (1992, as amended). Design Manual for Roads and Bridges Volume 10: Environmental Design and Management, The Stationary Office, Norwich, UK.

Halesworth., M (2000). Developing Naturally - A Handbook for Incorporating the Natural Environment into Planning and Development, Association of Local Government Ecologists (ALGE) & English Nature, Peterborough.

Penny Anderson Associates (1994). Roads and Nature Conservation: Guidance on impacts, mitigation and enhancement. Produced for English Nature, Peterborough, UK. 81pp.

RSPB (2000) Biodiversity Impact - Biodiversity and Environmental Impact Assessment: A Good Practice Guide for Road Schemes RSPB, Sandy, Bedfordshire.

Spellerberg, I.F. and Gaywood, M.J. (1993). Linear features: linear habitats and wildlife corridors, English Nature Research Report No 60, Peterborough, UK.

Strachan R (1998). Water Vole Conservation Handbook. EA, WildCRU, EN Oxford.

Anexo 5: Productos de la Acción COST 341

COST 341: Fragmentación del Hábitat causada por las Infraestructuras de Transporte

El proyecto denominado Acción COST 341: *Fragmentación del Hábitat causada por Infraestructuras de Transporte* empezó en 1998 a partir de una iniciativa de Infra Eco Network Europe (IENE). IENE es una organización que promueve la cooperación e intercambio de información sobre la fragmentación del hábitat causada por carreteras, ferrocarriles y canales navegables, a escala europea.

En los 5 años de actividades de la Acción COST 341, los siguientes países y organizaciones han participado oficialmente en el proyecto: Austria, Bélgica, Chipre, República Checa, Dinamarca, Francia, Hungría, República de Irlanda, Países Bajos, Noruega, Portugal, Rumanía, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y Centro Europeo para la Conservación de la Naturaleza (ECNC).

Los productos que se han elaborado en el marco de COST 341 son los siguientes:

- **FAUNA Y TRÁFICO. Manual europeo para identificar conflictos y diseñar soluciones**

Este Manual fue originalmente editado en inglés en el año 2003 por la editorial KNNV, y ha sido traducido y adaptado por iniciativa del Ministerio de Medio Ambiente.

- **Informes nacionales sobre el estado de la cuestión** en 13 países europeos: Bélgica, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estonia, Francia, Hungría, Países Bajos, Noruega, España, Suecia, Suiza y Reino Unido. Cada informe nacional describe las prácticas sobre métodos, indicadores, diseño técnico y procedimientos para prevenir, mitigar y compensar los efectos adversos de las infraestructuras de transporte en la naturaleza que se aplican en cada país. Estos informes sirvieron de base para la revisión de la situación en Europa. La mayor parte de los Informe Nacionales se han publicado en los respectivos países. El informe correspondiente a España fue publicado por el Ministerio de Medio Ambiente en el año 2003 con el título COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España
- **COST 341 - Fragmentación del Hábitat causada por las Infraestructuras de Transporte. Revisión de la situación en Europa.** Este informe analiza la escala e importancia del problema de la fragmentación de los hábitats por las carreteras, vías férreas y canales navegables en Europa, y examina las soluciones que se están aplicando actualmente. Fue editado por la Comisión Europea (Documento EUR 20721) en el año 2003.
- **Una base de datos**, que contiene información sobre los documentos y proyectos existentes a escala internacional y nacional sobre la fragmentación del hábitat. También incluye referencias a informes inéditos difíciles de localizar mediante otras bases de consulta bibliográfica.
- **El Informe Final**, que describe el problema, resume los resultados del proyecto y aporta posibles soluciones y el camino a seguir.

Todos los productos COST 341 detallados anteriormente (excepto este Manual y el documento sobre el estado de la cuestión en España) están incluidos en un CD-ROM, y se pueden obtener a través de la página Web de IENE: www.iene.info.

Fauna y tráfico: Manual Europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones es un documento orientado a la resolución de los problemas causados por las infraestructuras de transporte en la naturaleza, basado en los conocimientos de un amplio grupo de expertos de los países participantes en la Acción COST 341. El Manual aporta recomendaciones prácticas dirigidas a todos los profesionales implicados en las diferentes fases de planificación, proyecto, construcción y mantenimiento de las infraestructuras de transporte. Su principal objetivo es facilitar a los responsables de los proyectos, directrices para reducir al mínimo las barreras que ejercen las infraestructuras lineales de transporte y sus efectos de fragmentación.

El manual conduce al lector, capítulo por capítulo, a través de las distintas fases de la vida de una infraestructura, desde los pasos iniciales de la planificación estratégica, hasta la integración de las carreteras en el paisaje, el uso de medidas correctoras tales como pasos de fauna, la aplicación de medidas compensatorias y, finalmente, el control y evaluación de la efectividad de las soluciones aplicadas.

