

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

7

EFFECTOS DE BORDE Y EFFECTOS EN EL MARGEN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y ATENUACIÓN DE SU IMPACTO SOBRE LA BIODIVERSIDAD



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

EFFECTOS DE BORDE Y EFFECTOS EN EL MARGEN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y ATENUACIÓN DE SU IMPACTO SOBRE LA BIODIVERSIDAD



Madrid, 2019

Este documento se ha redactado en el marco del **Grupo de Trabajo de Fragmentación de Hábitats causada por Infraestructuras de Transporte**, coordinado por la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental. Particularmente, se ha trabajado en una comisión técnica en la que participaron las siguientes personas:

Georgina Álvarez Jiménez, dirección y coordinación, Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, Ministerio para la Transición Ecológica.
Juan Pedro Aguilar, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.
Antonio Ballester Potenciano, Direcció General de Medi Natural i Avaluació Ambiental, Comunitat Valenciana.
Raúl Blázquez López, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.
Mercedes Campos Delgado, Dirección Insular de Carreteras y Paisaje, Cabildo Insular de Tenerife.
Francisco Javier Cantero Desmartines, Dirección General de Medio Ambiente y Sostenibilidad, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Comunidad de Madrid.
Menchu Cortés, Direcció General de Medi Natural i d'Avaluació Ambiental, Comunitat Valenciana.
Ricardo Flores, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento.
Alicia Florit García, Direcció General d'Espais Naturals i Biodiversitat, Conselleria de Medi Ambient, Agricultura i Pesca, Illes Balears.
Javier Forcada Melero, Dirección General de Obras Públicas, Vicepresidencia de Desarrollo Económico, Gobierno de Navarra.
Raquel López López, Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, Ministerio para la Transición Ecológica.
Maite Manzanares Iribas, Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, Ministerio para la Transición Ecológica.
Rosa María Matas López, Subdirección de Medio Ambiente. Dirección de Actuaciones Técnicas, ADIF-Alta Velocidad.
Gloria de Mingo-Sancho García, Organismo Autónomo Parques Nacionales.
María Jesús Palacios González, Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio, Junta de Extremadura.
José Manuel Pena Regueiro, Dirección Xeral de Patrimonio Natural, Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda, Xunta de Galicia.
Margarita Rodríguez Pajares, Dirección General de Carreteras e Infraestructuras, Consejería de Fomento y Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.
Daniel Ruiz Larsson, Dirección General de Infraestructuras y Desarrollo Territorial, Diputación Foral de Bizkaia.
Jordi Solina Angelet, Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya.

Asistencia técnica para la redacción del documento:

Eloy Revilla, Carlos Rodríguez, Jacinto Román y Juan Carlos Rivilla, mediante encomienda de gestión 17MNES030 de la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, del Ministerio para la Transición Ecológica, a la Estación Biológica de Doñana, CSIC.

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

Ilustraciones: Eloy Revilla y Jacinto Román

Agradecimientos: Personas que han aportado información, asesoramiento o han participado en la revisión de los sucesivos borradores: Ricardo Gómez Calmaestra, Carlos Sánchez García, Álvaro Carretero Luna y Javier Martín Herrero, Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, Ministerio para la Transición Ecológica; Mercedes Guijarro y Javier Madrigal, Grupo de Incendios Forestales, Centro de Investigación Forestal, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria; Antonio López Santalla, Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Política Forestal, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; Irene Olivares Bendicho, Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, Ministerio para la Transición Ecológica; Concepción Ornos Gallego, Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución de la Universidad Complutense de Madrid; Manuel García Gil y Sergi Paricio Ferreró, Direcció General de Qualitat Ambiental i Canvi Climàtic, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya; Manel Pomarol i Clotet y Clara Racionero Cots, Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya; Airam Rodríguez Martín, Departamento de Ecología Evolutiva, Estación Biológica de Doñana, CSIC.

Cita recomendada:

Ministerio para la Transición Ecológica. 2019. *Efectos de Borde y Efectos en el Margen de las Infraestructuras de Transporte y Atenuación de su Impacto sobre la Biodiversidad*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 7. Ministerio para la Transición Ecológica. 98 pp. Madrid



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

Edita:

©: Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO)
Madrid 2019.
NIPO: 638-19-034-9
ISBN: 978-84-8014-928-0
Depósito Legal: M=33192-2019
Lengua/s: Español

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado: <https://cpage.mpr.gob.es>

MITECO. www.miteco.es

Plaza de San Juan de la Cruz s/n
28003 Madrid
España

Impresión y encuadernación: Solana e hijos, Artes Gráficas, S.A.U.

Encuadernación cosida con hilo. Papel estucado semimate de 115 gramos. Cubierta en cartulina estucada de 300 gramos.
Formato 21.29.7 cm. Composición: Dos columnas. Tipografía: Lucida Sans a cuerpo 10

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

1 Presentación

2 Conceptos

3 Descripción de los efectos considerados

4 Aplicación de medidas

5 Bibliografía

6 Apéndice

Índice

1	Presentación	11
1.1.	Antecedentes	11
1.2.	Justificación	12
1.3.	Objetivos	13
1.4.	Ámbito de aplicación	13
1.5.	Destinatarios	13
2	Conceptos	17
2.1.	Efectos generales de las infraestructuras	17
2.2.	Efectos considerados en este documento	22
3	Descripción de los efectos considerados	27
3.1.	Contaminación lumínica	27
3.2.	Contaminación acústica	30
3.3.	Difusión de otros contaminantes	32
3.4.	Infraestructuras como puntos de inicio de incendios	34
3.5.	Frecuentación antrópica	37
3.6.	Escorrentía y gestión de aguas	38
3.7.	Establecimiento y dispersión de especies exóticas invasoras	40
3.8.	Establecimiento de especies potencialmente conflictivas en los márgenes	45
3.9.	Atracción de especies que sufren mortalidad por atropello	47
4	Aplicación de medidas	51
4.1.	Ámbito y alcance de las intervenciones	51
4.2.	Consideraciones generales	51
4.3.	Fichas descriptivas de medidas	52
5	Bibliografía	89
6	Apéndice	95

1 Presentación



Presentación



Conceptos



Descripción
de los efectos



Aplicación de
medidas



Bibliografía



Apéndice

1.1 Antecedentes

Las infraestructuras de transporte, la construcción de zonas urbanas y la agricultura están entre los impactos humanos que más han modificado el planeta y que más capacidad tienen de seguir haciéndolo en las próximas décadas. Los efectos de las infraestructuras de transporte son muy importantes, manifestándose de manera inmediata en la pérdida y fragmentación de los hábitats y ecosistemas donde se instalan. La fase de construcción de las infraestructuras supone una agresión directa de gran impacto, puesto que la destrucción de la vegetación preexistente y la degradación de los hábitats circundantes por la actuación continuada de diversos procesos son mayormente irreversibles. Una vez en explotación, las infraestructuras generan afecciones a distintos niveles, incluyendo algunos muy evidentes para la sociedad, como es el caso de los atropellos de fauna o el efecto barrera que reduce o impide la movilidad entre ambos lados de las infraestructuras. Existen, sin embargo, otros efectos menos conocidos, como son los cambios en el régimen hidrológico, efectos erosivos y de transporte de sedimentos, contaminación lumínica, acústica, atmosférica, de aguas o de suelos. La gran heterogeneidad de los efectos dificulta su prevención y mitigación de manera integrada. Además, los efectos de las infraestructuras durante la fase de explotación están asociados tanto a la propia presencia de la infraestructura como al tráfico que soportan, siendo este último dinámico en el tiempo. En conjunto, la suma de los efectos generados por la presencia y el uso de las redes de transporte, a múltiples escalas, supone una importante fragmentación de hábitats que disminuye el valor ambiental de las zonas donde se implantan y reduce los servicios ecosistémicos que proveen.

Por todo lo anteriormente expuesto, el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre), estableció como Meta número 2 el “Proteger, conservar y restaurar la naturaleza en España y reducir sus principales amenazas”. Para alcanzar dicha meta, el objetivo particular 2.2 persigue “Promover la restauración ecológica, la conectividad ambiental del territorio y la protección del paisaje”, y para ello contempla la Acción 2.2.4 “Continuar la elaboración de prescripciones técnicas para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte y fomentar la difusión y aplicación”. Hasta el momento, se han elaborado seis documentos de prescripciones técnicas y se ha actualizado el primero, todos ellos publicados en la serie de documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte. La información en ellos recogida es eminentemente práctica, estando dirigida a minimizar en lo posible los daños que sobre la biodiversidad producen las infraestructuras lineales de transporte durante las fases de planificación, construcción y explotación. Este objetivo forma parte de la Estrategia Estatal de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas, que desarrollará el Ministerio para la Transición Ecológica.

El presente documento es el séptimo de la serie, dedicado a los efectos de borde y otros efectos en el margen de las infraestructuras. Dichos efectos se esbozaron ya en *Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte* (MARM 2010b) y en la segunda edición revisada y ampliada de las *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales* (MAGRAMA 2015). En manuales anteriores se identificaban como

efectos de borde: la contaminación lumínica, el ruido y las vibraciones, la difusión de otros contaminantes, el inicio de incendios y la frecuentación antrópica; y como procesos en el margen de las infraestructuras: la acumulación y canalización de los flujos de agua y sedimentos y la creación de nuevos hábitats con capacidad para atraer y canalizar el movimiento de especies.

En este documento se abordan en profundidad estos efectos, considerando de forma específica la entrada de especies exóticas invasoras desde las infraestructuras y su establecimiento en los márgenes de las mismas, así como los efectos que otras especies potencialmente conflictivas puedan tener. Finalmente, se incluye también el efecto de las infraestructuras de transporte como lugares habituales de inicio de incendios forestales.

1.2 Justificación

España es el país con mayor número absoluto de kilómetros de autovías/autopistas y de ferrocarril de alta velocidad de toda la Unión Europea (Comisión Europea, 2016). Durante los últimos 30 años, España ha intensificado enormemente la construcción de infraestructuras de transporte de todo tipo. En el caso de las autovías/autopistas se ha pasado de 4.976 km en 1990 a 14.981 km en 2013 (un 300 % más en 23 años), mientras que las vías ferroviarias de alta velocidad han pasado de 471 km en 1995 a 2.871 km en 2015 (un 600 % de aumento en 20 años, Comisión Europea, 2016). Según este informe, España tiene una red viaria de 666.415 km, es decir, algo más de 1,2 km de viales por cada km² de superficie, y una red de ferrocarril de 15.901 km.

La densa red de infraestructuras de transporte ha generado una pérdida directa de hábitats por la propia construcción de las infraestructuras, así como la fragmentación del hábitat remanente y

diversos efectos adicionales derivados del uso y explotación de la misma. Estos efectos directos de pérdida y fragmentación de hábitat, así como el efecto barrera producido por la limitación del movimiento de individuos y propágulos, y su atropello, han sido los que más atención han generado desde un punto de vista del seguimiento, la mitigación y la investigación de los efectos de las infraestructuras en el medioambiente.

Los hábitats presentes en las riberas de los ríos son los más afectados, ya que las infraestructuras a menudo siguen los cursos fluviales en su trazado, así como otras zonas húmedas que se sitúan en áreas de relieve suave, que favorecen su emplazamiento. En parte relacionado con esto, pero también debido a sus propias características e historia natural, los anfibios y reptiles son los grupos de vertebrados más afectados, registrando mortandades masivas en puntos concretos de las infraestructuras de transporte. El efecto barrera puede tener también un impacto muy negativo en especies amenazadas que pueden verse afectadas por la mortalidad por atropello, así como por la falta de conectividad de sus poblaciones, como es el caso del lince ibérico o del oso pardo. En los últimos años se han construido numerosas estructuras que permeabilizan las vías, permitiendo el paso de la fauna, a pesar de lo cual aún hay pocos estudios que analicen su efectividad a nivel de población en relación a las características de dichas estructuras.

En este volumen de prescripciones técnicas, repasamos los avances y el estado actual de los efectos de borde y aquellos que ocurren en los márgenes de las infraestructuras. Estudios recientes muestran la necesidad de un cambio de modelo en la consideración de los márgenes de las infraestructuras, tanto a nivel del manejo y control de la dinámica geomorfológica e hidrológica, como en la consideración de las revegetaciones de dichos márgenes como

proceso de restauración ecológica y no de ajardinamiento (Valladares et al. 2011). Se ha demostrado también la necesidad de reducir la contaminación lumínica, así como la acústica, especialmente en espacios naturales protegidos (Iglesias 2014). Los conocimientos y experiencias acumulados en los últimos años sobre estos y otros efectos de las infraestructuras (véase Colino 2011), permiten buscar soluciones técnicas que minimicen en lo posible los efectos de borde y aquellos que ocurren en los márgenes, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad.

1.3 Objetivos

El objetivo general es evitar, reducir o minimizar los efectos de borde y otros efectos en el margen causados por las infraestructuras de transporte sobre el medioambiente. Este objetivo general se divide en los siguientes objetivos específicos:

- Revisar el conocimiento científico actual sobre los efectos de borde y otros efectos en el margen de infraestructuras de transporte y, de manera específica, los siguientes efectos:
 - Contaminación lumínica
 - Contaminación acústica
 - Dispersión de contaminantes
 - Escorrentía y gestión de aguas
 - Incendios con origen en la infraestructura
 - Frecuentación antrópica
 - Propagación y asentamiento de especies invasoras
 - Atracción de especies susceptibles de producir daños en la infraestructura

- Atracción de especies sensibles a sufrir mortalidad por atropello

- Proporcionar indicaciones que faciliten la prevención de estos efectos en el ámbito de la planificación, así como el diseño y la ejecución de medidas destinadas a reducirlos en los territorios afectados por este tipo de infraestructuras donde no hayan podido prevenirse.

1.4 Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de las prescripciones técnicas abarca todo el ciclo de vida de las infraestructuras, incluyendo las fases de planificación, proyecto, construcción, explotación y conservación. Las prescripciones cubren un amplio abanico de medidas, no solo de prevención y de corrección, sino que también sirven para identificar efectos susceptibles de generar medidas compensatorias de los impactos que no puedan ser mitigados. Es de especial interés su aplicación en las evaluaciones de impacto ambiental, la vigilancia y el seguimiento ambiental a realizar durante la explotación y conservación de las infraestructuras para evaluar la efectividad de las medidas implementadas.

1.5 Destinatarios

El presente documento está destinado a los responsables y técnicos de empresas, administraciones y otras organizaciones que participan en el diseño, construcción, mantenimiento y explotación de infraestructuras lineales de transporte, así como para los que trabajan en evaluación ambiental y en la conservación y restauración del medio natural. También es relevante para aquellos ciudadanos con especial interés por temas ambientales y por el impacto ambiental de las infraestructuras de transporte, así como su prevención y atenuación.

2 Conceptos



Presentación



Conceptos



Descripción
de los efectos



Aplicación de
medidas



Bibliografía



Apéndice

2.1 Efectos generales de las infraestructuras

La construcción de infraestructuras lineales de transporte implica la destrucción directa del hábitat preexistente por ocupación del espacio. Aunque es tal vez el mayor efecto, recibe relativamente poca atención por lo obvio que resulta. Solo la explanación, esto es, la parte principal de la vía por la que transcurre el tráfico, conlleva la destrucción de una franja de aproximadamente 40 metros de anchura (en el caso de vías de alta capacidad), por lo que se pierden 4 ha de hábitat por cada kilómetro de vía que se construye. Un cálculo rápido con los datos de la red vial española (Comisión Europea 2016) indica que la superficie ocupada por los viales es comparable a la de las Islas Baleares. Si se consideran taludes, accesos y vías de servicio, este valor se duplica e incluso triplica si el trazado contempla el desdoblamiento de vías preexistentes o confluye con otras infraestructuras lineales. La pérdida de hábitat es un impacto directo, inmediato e irreversible que hace que la selección del trazado resulte clave.

El segundo efecto fundamental que las infraestructuras de transporte tienen sobre el medio en el que se asientan es la fragmentación de los parches o teselas de hábitat preexistentes, haciendo que las consecuencias ambientales de la fragmentación puedan llegar a ser importantes a gran escala (MARM 2010b). Por ello, la fase de planificación del trazado de las infraestructuras debería siempre evitar la fragmentación de las teselas existentes de hábitats naturales de interés o áreas de valor natural. El valor de conservación de las áreas no fragmentadas, por estar libres de carreteras y otras infraestructuras, se está poniendo de

manifiesto en la literatura científica actual (Laurance et al. 2014, Ibisch et al. 2016).

El desarrollo urbano inducido, junto a la pérdida y fragmentación de hábitat, tienen un carácter total o parcialmente irreversible, y, por tanto, resulta más eficiente la consideración de medidas preventivas que de corrección o atenuación.

La presencia de infraestructuras lineales y las modificaciones de hábitat que generan suponen una barrera que provoca que muchas especies no puedan pasar de un lado al otro de la infraestructura o bien que lo consigan con una probabilidad más baja de lo normal. Esto reduce la conexión entre las poblaciones situadas a ambos lados de la vía y puede incluso llegar a fragmentarlas, aumentando así su vulnerabilidad ya que a menor tamaño de población hay un mayor riesgo de extinción local. Este problema se ve exacerbado por el riesgo de atropello que tienen los individuos que intentan cruzar, generando números muy elevados de víctimas en especies de pequeño tamaño como insectos, anfibios, reptiles o pequeñas aves. Además, las colisiones con grandes mamíferos pueden suponer un riesgo para la seguridad vial. El riesgo de mortalidad por atropello llega a ser tan alto en algunas especies (lechuzas, erizos) que se puede producir su extinción en los hábitats cercanos a las infraestructuras (Grilo et al. 2012; Borda da Agua et al. 2014; Wembridge et al. 2016). Dada la magnitud del problema de los atropellos, se considera como un impacto independiente del efecto barrera, a pesar de estar directamente relacionados, ya que la mortalidad hace disminuir la conectividad entre las poblaciones separadas por infraestructuras.

Existen otros efectos que emanan de las infraestructuras y que, en esta serie de documentos, se engloban en dos categorías principales: efectos de borde y efectos en el margen de la infraestructura. Ambos efectos comparten espacio físico y se dan a los lados del vial, diferenciándose fundamentalmente por sus características funcionales. Los efectos que emanan de las infraestructuras tienen dos componentes espaciales principales: uno longitudinal, a lo largo de la vía, y otro perpendicular, introduciéndose hacia el paisaje circundante y atenuándose con la distancia al vial. Aunque estos efectos no son nunca excluyentes, entendemos como efectos de borde aquellos en los que el componente perpendicular es más relevante que el longitudinal; mientras que los efectos en el margen son aquellos en los que predomina el longitudinal (Figura 2.1).

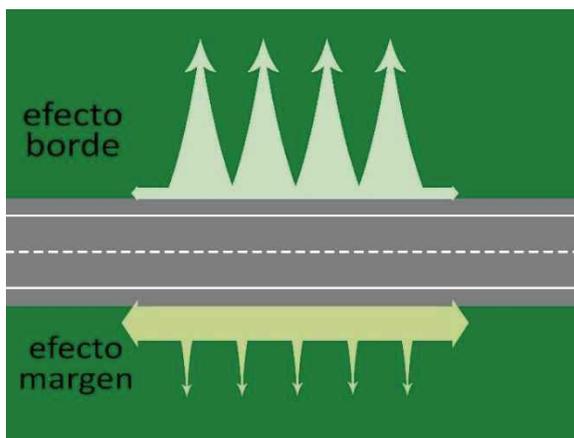


Figura 2.1. Descripción conceptual de los efectos que ocurren fundamentalmente a lo largo del margen de las infraestructuras y los efectos que emanan desde la infraestructura hacia el interior de los hábitats donde se instala. El grosor de las flechas representa la intensidad de los efectos.

La presencia de una carretera provoca que la iluminación, el ruido, el polvo, los metales pesados, los fundentes, etc. se difundan perpendicularmente desde la infraestructura hacia el interior del paisaje. Ello trae como consecuencia otros efectos derivados, como la evitación o atracción hacia la vía por parte de algunas especies, algo que puede ocurrir incluso aunque no haya cambios en la composición o

estructura de la vegetación. Si la evitan, se reduce la densidad en la proximidad de la vía, como ocurre con ungulados silvestres o algunas aves, mientras que si son atraídos, la densidad aumenta. Esto es lo que ocurre con el uso de las infraestructuras lineales que hacen algunos carnívoros, como los zorros, para sus desplazamientos.

El efecto en cadena es importante, pues estos cambios de densidad afectan a otros procesos: tasas de herbivoría y reclutamiento vegetal, por ejemplo, que a su vez refuerzan el efecto de borde al modificar la estructura de la vegetación en función de la distancia al vial. Estos cambios pueden ser tan intensos como para provocar la aparición de nuevos tipos de vegetación, con efectos positivos o negativos según la zona y el tipo de especie. En general, el efecto de borde depende en gran medida de la proporción de hábitat afectado por la infraestructura y de las características de las especies, como su movilidad y su afinidad a ese hábitat. Su efecto puede ser importante, especialmente cuando la red de infraestructuras es densa. Por ejemplo, en el Espacio Natural de Doñana se ha estimado que el efecto de borde de la densa red de carreteras y caminos existente reduce la probabilidad de presencia de jabalíes y ciervos en un 55 % y un 40 %, respectivamente (D'Amico et al. 2016).

La presencia de la propia infraestructura y de las modificaciones de hábitat que induce en sus márgenes puede canalizar longitudinalmente procesos de transporte de agua, sedimentos, contaminantes e incendios, o el desplazamiento de organismos a lo largo de la propia infraestructura. De nuevo, los efectos pueden ser tanto positivos como negativos. Entre los positivos destacan la creación de márgenes con vegetación natural en áreas agrícolas donde esta es limitante (Figura 2.2.). La presencia de esta vegetación hace que estos márgenes puedan funcionar como corredores que facilitan el

desplazamiento de animales entre los remanentes de vegetación natural de la zona, lo que aporta un valor ambiental no desdeñable cuando flanquean carreteras y caminos con escaso tráfico en paisajes altamente humanizados. Es el caso de los paisajes agrícolas de escaso valor ambiental (Ascensao et al. 2015, Arenas et al. 2017).

Entre los negativos podemos citar como ejemplos la eutrofización de márgenes por nitrificación, que a su vez modifica la composición de la vegetación permitiendo el establecimiento de especies de plantas ruderales (aquellas adaptadas a vivir en márgenes y cunetas), la entrada de herbáceas y arbustos en áreas forestales o el establecimiento y propagación de especies exóticas que pueden comportarse como invasoras y que se ven favorecidas por las modificaciones ambientales inducidas por las infraestructuras en sus márgenes y por la ayuda al transporte de propágulos que ofrece el tráfico (Joly et al. 2011).



Figura 2.2. Margen con vegetación natural creciendo en el talud de la A-49 a la altura de Rociana del Condado (Huelva). La vegetación herbácea y subarborescente permite la presencia de insectos, aves o micromamíferos. Este tipo de parches de vegetación pueden tener valor de conservación en paisajes altamente humanizados donde la vegetación nativa sea limitante. Foto: Jacinto Román.

El presente documento se centra en los efectos de borde y los que ocurren en los márgenes. Dentro del primero incluimos todos aquellos cuya intensidad es máxima en el borde de la infraestructura y va

disminuyendo conforme se aumenta la distancia con respecto a ella: la difusión de contaminantes, la polución acústica y lumínica, la frecuentación antrópica y el inicio de incendios, los cuales provocan a su vez otros efectos de borde derivados. Dentro del segundo grupo consideramos aquellos que le son propios al nuevo hábitat conformado por los márgenes, medianas y taludes de la infraestructura, así como la canalización de sedimentos y flujos de agua a lo largo de la misma. Todos estos efectos se manifiestan mediante diferentes mecanismos de cambio o procesos (Figura 2.3), que podemos agrupar como:

- Procesos biogeoquímicos: cambios en iluminación, ruido, difusión de contaminantes, sedimentación y escorrentía, incendios e, incluso, en variables microclimáticas como temperatura o viento.
- Procesos que se dan a nivel del individuo: la evitación o la atracción por la infraestructura, la mortalidad directa (atropello) o inducida (los insectos que son depredados tras verse atraídos por las luminarias de las infraestructuras) y los efectos fisiológicos como el aumento de los niveles de estrés.
- Procesos que se dan a nivel de poblaciones: extinción local, cambios en la densidad, aparición de nuevas especies (incluyendo especies exóticas invasoras) o cambios en la dinámica poblacional (inmigración/emigración entre poblaciones, por ejemplo).
- Procesos que se dan a nivel de comunidades de especies: la aparición o desaparición de estas, cambios en su composición derivados de la aparición/desaparición de poblaciones y los subsecuentes cambios en las interacciones entre los elementos que constituyen la comunidad.
- Procesos que se dan a nivel de ecosistema: la fragmentación, la

alteración o cambios en el funcionamiento (por ejemplo, por modificación del régimen hídrico de una masa de agua) y sus consecuencias en servicios ecosistémicos (la disminución de la masa forestal inducida por la infraestructura conlleva una menor captura de CO₂).

Interacciones y sinergias

Los efectos de las infraestructuras sobre el medioambiente son complejos debido a la existencia de interacciones y sinergias. A los efectos propios de la presencia de la infraestructura se añaden los derivados del tráfico y del incremento de la presencia de personas en la zona, no solo durante su explotación y mantenimiento, sino también durante su construcción (Figura 2.4).

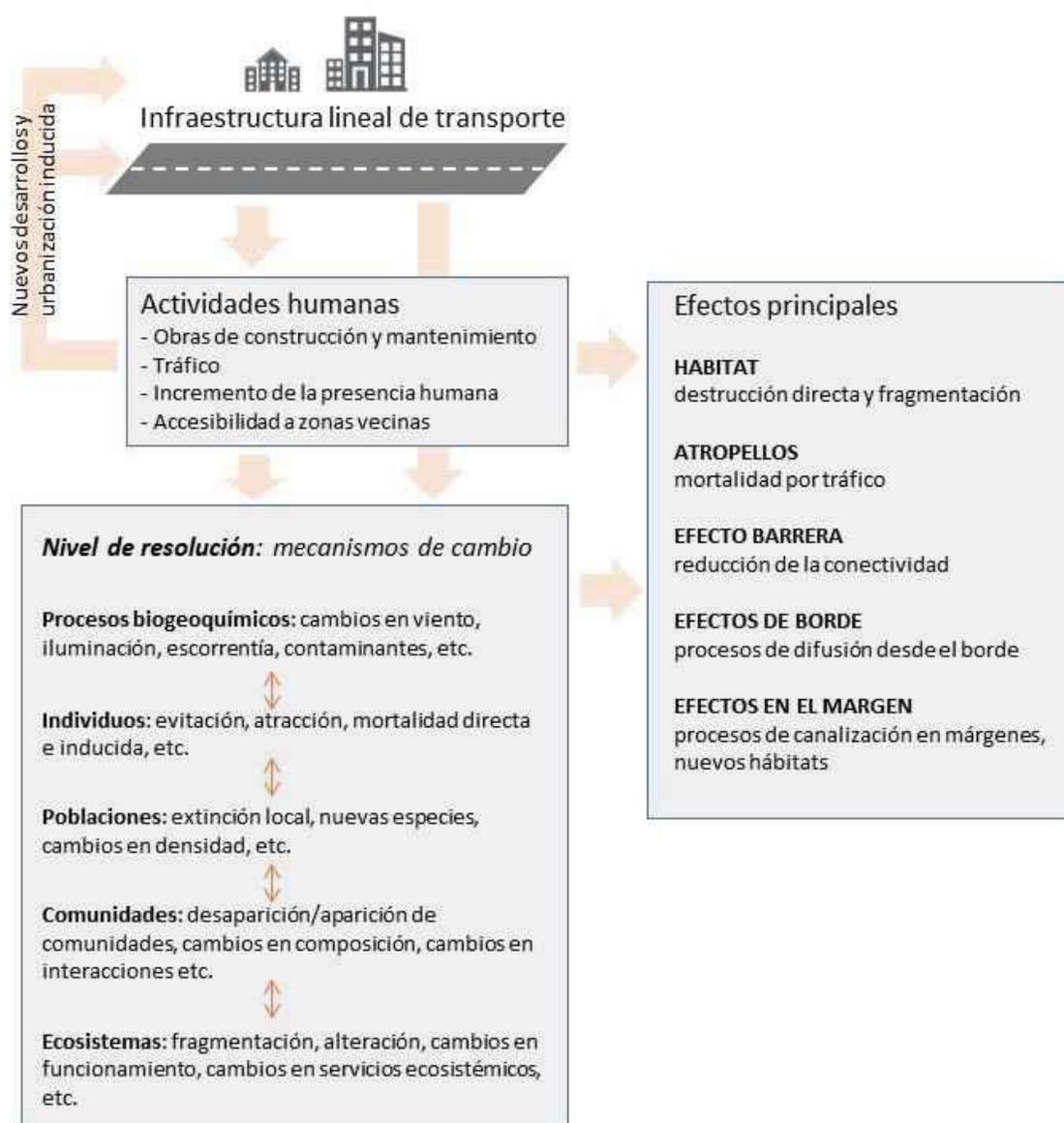


Figura 2.3. Esquema de los efectos principales de la antropización generada por la construcción de infraestructuras lineales de transporte, identificando los mecanismos de cambio principales a distintos niveles de resolución física y biológica.

Cada uno de estos componentes genera efectos directos sobre la fauna, la vegetación y los procesos físicos que ocurren en las proximidades de la infraestructura, a lo que hay que añadir la entrada, generación y movilización de diversos tipos de contaminantes (Figura 2.4). La presencia de la propia infraestructura genera impactos asociados al vacío o hueco que se crea en la continuidad del ecosistema donde se instala. Además, afecta a procesos ambientales como la velocidad y dirección del viento y la temperatura y la humedad tanto del aire como del suelo circundante.

Muchos de los efectos son comunes a las distintas fases de desarrollo, uso y mantenimiento del vial, siendo muy variables en su duración e intensidad. Las actividades humanas asociadas a la fase de construcción son las que tienen más efectos y de mayor intensidad, aunque en general sean de duración delimitada en el tiempo. Las labores de mantenimiento son puntuales e incluyen obras de mejora de mayor o menor importancia con efectos similares a los de la propia obra de construcción. También otras de menor

relevancia pero que pueden generar problemas ambientales importantes, como ocurre con el uso de herbicidas en el tratamiento de márgenes o de fundentes para la eliminación de hielo en la calzada. La duración de los efectos asociados a la presencia de tráfico y de personas en las infraestructuras y sus proximidades se extiende a lo largo de toda la vida útil de la infraestructura.

A los efectos directos hay que sumar las interacciones que existen entre ellos, lo que complica su aislamiento y el desarrollo de medidas correctoras o paliativas. Existen muchos ejemplos de tales interacciones y sinergias. Los cadáveres de los animales atropellados pueden hacer de atrayente de especies de carroñeros, lo que genera un nuevo riesgo de atropello. Las modificaciones físico-químicas que se producen en los márgenes alteran la vegetación, que a su vez tiene un efecto directo sobre las especies animales que pueden utilizar los márgenes de las infraestructuras (Figura 2.4).

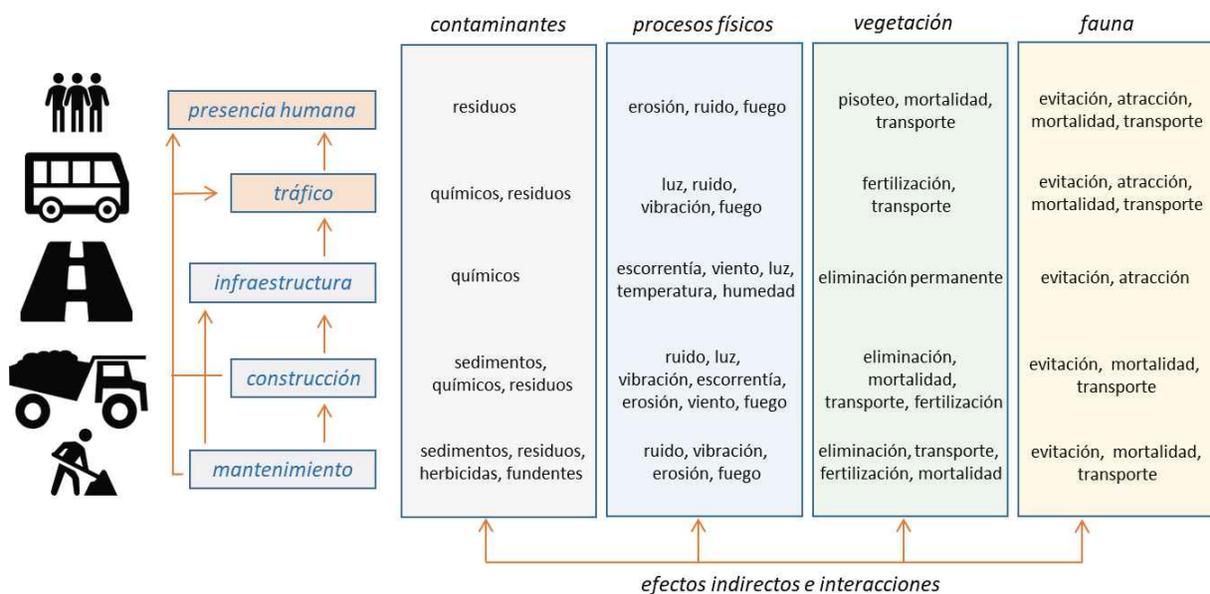


Figura 2.4. Esquema de la relación entre los distintos factores asociados a la infraestructura (presencia de la propia infraestructura, de personas y de tráfico y las actividades de construcción y mantenimiento) y los efectos que estos tienen a nivel de contaminantes, procesos físicos, vegetación y fauna. Las flechas indican relaciones, incluyendo los efectos indirectos e interacciones que existen entre los distintos efectos (por ejemplo, sedimentos y contaminantes químicos producen mortalidad en la vegetación). Nótese que tanto herbicidas como fundentes son contaminantes químicos, pero, dada su importancia, se especifican en el apartado de mantenimiento.

Es por tanto necesario mantener una perspectiva amplia a la hora de diseñar actuaciones para poder así actuar sobre múltiples efectos al mismo tiempo. Además, hay que considerar siempre la posibilidad de que la aplicación de medidas preventivas o correctoras de un problema puedan generar problemas adicionales.

2.2 Efectos considerados en este documento

Es evidente que los distintos tipos de efectos están relacionados unos con otros, siendo a veces difícil aislar un problema concreto. Por eso, es conveniente identificar problemas específicos (efectos) y describirlos desde el punto de vista de las acciones humanas que los generan y los mecanismos a distintas escalas que dan lugar al fenómeno. De este modo es más sencillo identificar las acciones que pueden ser útiles en el diseño, aplicación y manejo para la reducción y la corrección de los impactos. Los efectos asociados a infraestructuras lineales de transporte considerados en el presente documento y que tienen relación con efectos de borde y propios del margen de la infraestructura, son:

- Contaminación lumínica. Se produce por la iluminación artificial de las vías y de los propios vehículos. Tiene efectos tanto directos (deslumbramiento, atracción) como indirectos (fisiológicos) sobre un nutrido grupo de organismos y, dependiendo del relieve y la vegetación, puede ser de muy largo alcance (kilómetros).
- Contaminación acústica. Se produce por el ruido asociado al tráfico que soportan las infraestructuras de transporte y que puede tener consecuencias auditivas y de comportamiento en la fauna, pero sobre todo consecuencias no auditivas (estrés fisiológico). Dependiendo del relieve y la vegetación, puede ser de largo alcance (centenares de metros).
- Difusión de otros contaminantes. La principal fuente de emisión de contaminación química a lo largo de las infraestructuras de transporte la constituyen los propios vehículos que usan la infraestructura y los vertidos accidentales que en ellas se producen, los procedentes de los materiales usados para su construcción y las actividades de mantenimiento que estas demandan. Dependiendo de la sustancia, el alcance puede ser de unos metros o de kilómetros si consideramos la contaminación atmosférica o incluimos la difusión a través de la red de drenaje de las propias infraestructuras.
- Inicio de incendios forestales. Más de un 20 % de los incendios forestales tienen su inicio en infraestructuras de transporte por accidentes o descuidos de diferente índole o son provocados desde estas con diferentes propósitos.
- Frecuentación antrópica. Además del efecto directo de las personas sobre el medio (pisoteo, expolio, molestias, etc.), la presencia de personas en las infraestructuras y sus intermediaciones amplía el efecto de borde de la infraestructura en todos los aspectos señalados en este documento.
- Escorrentía y gestión de aguas. Los trazados de las infraestructuras de transporte a menudo interceptan masas y cursos de agua de diferente entidad, modificando parámetros como su hidroperiodo, la velocidad de la corriente, la deposición de sedimentos, etc. Dependiendo de la magnitud de la red hidrográfica y de la infraestructura, los efectos pueden llegar a ocurrir a nivel de paisaje.
- Facilitación para el establecimiento o dispersión de especies exóticas. Las infraestructuras de transporte suelen citarse como el principal factor causante de la invasión de fauna y flora exótica porque sus márgenes e infraestructuras

asociadas ofrecen un hábitat alterado al que llegan en forma de individuos, semillas y otros propágulos, dispersadas por los propios vehículos y en el que se establecen de forma exitosa. El carácter vertebrador de las infraestructuras de transporte les permite expandir constantemente su área de distribución.



Figura 2.5. Ejemplar de *Pluchea ovalis* asentado en margen de carretera. Foto Cabildo Insular de Tenerife.

- Áreas de establecimiento de especies potencialmente conflictivas. Al igual que ocurre con las especies exóticas, hay especies cuyas características de historia natural les permite explotar con éxito el nuevo hábitat que los márgenes de las infraestructuras suponen, a veces con riesgo para la propia infraestructura, como sucede en algunos tramos con los conejos y sus hábitos cavadores.
- Áreas de atracción de especies que sufren mortalidad por atropello. Tanto la vía como sus márgenes o infraestructuras asociadas (iluminación) pueden ejercer un efecto de atracción sobre parte de la fauna del entorno, aumentando la probabilidad de que esta sufra atropellos.



Figura 2.6. Nido de Perdiz (*Alectoris rufa*) en cuneta de carretera; un hábitat de nidificación habitual en algunas zonas. Foto: Javier Viñuela (IREC, CSIC-UCLM).

Para todos estos efectos, se considera la infraestructura como la suma de todos sus elementos: vía principal, vías de servicio, accesos, áreas de descanso, etc., ya que, a pesar de mostrar diferencias en volumen de tráfico e intensidad de efectos, en general, estos son esencialmente los mismos y son generados por el conjunto de la infraestructura. En este documento se ofrece información actualizada y relevante sobre la importancia de estos efectos de la infraestructura, así como posibles soluciones para su reducción en las diferentes fases de planificación, proyecto, construcción y explotación.

3

Descripción de los efectos

1

Presentación

2

Conceptos

3

Descripción
de los efectos

4

Aplicación de
medidas

5

Bibliografía

6

Apéndice

3.1 Contaminación lumínica

Prácticamente todos los organismos vivos presentan algún tipo de variación fisiológica periódica relacionada con los ciclos de luz del medio; son los llamados ritmos circadianos. Más allá del patrón diario, los organismos que viven alejados del ecuador también ajustan ritmos biológicos de menor frecuencia al fotoperiodo y activan o detienen diferentes procesos fisiológicos en función de las horas de luz recibida. Es evidente, por tanto, que cualquier alteración en la cantidad de luz que un organismo recibe tiene consecuencias, más aún si estas alteraciones suponen un cambio abrupto, como sucede con la iluminación artificial de un lugar que de otro modo estaría oscuro. La iluminación artificial se refleja y difunde por el cielo nocturno, constituyendo lo que se denomina contaminación lumínica, que se puede producir de tres maneras principales: resplandor, intrusión y encandilamiento. La primera es resultado directo de la iluminación que se proyecta hacia el cielo y que forma las bien conocidas burbujas que envuelven a las ciudades y a las infraestructuras de transporte (Figura 3.1). La intrusión está constituida generalmente por los rayos de luz horizontales, con gran capacidad de dispersión y que acaban llegando a lugares muy lejanos al lugar de emisión. Por último, el encandilamiento o deslumbramiento se produce por la incidencia de la luz de forma súbita en los ojos de los animales.

Son bien conocidos los impactos que la contaminación lumínica tiene sobre aves, murciélagos, insectos (sobre todo mariposas nocturnas), anfibios y un largo etcétera. Entre otros destacan: el efecto de borde que supone para los animales de hábitos nocturnos, la modificación de los

patrones de alimentación, apareamiento, capacidad de navegación, cuidado parental, migración, comunicación, competencia y depredación. Algo similar sucede con las plantas, para las que se han descrito impactos sobre el crecimiento de algunos cultivos, la composición específica de algunas comunidades y su fenología (ritmos estacionales). No obstante, el impacto más visible, y tal vez el más significativo, es el que se produce sobre los insectos, donde la contaminación lumínica provoca un comportamiento de hiperestímulo que se conoce como “vuelo a la luz” (Figura 3.2). Este se traduce en una atracción hacia la fuente de luz con tres grandes efectos: mortalidad directa (el insecto muere extenuado, quemado o depredado), efecto barrera (el insecto que se encuentra en dispersión o migración no la completa por el efecto atrayente de la luz) y efecto translocador (el insecto abandona su hábitat natural atraído por la luz).



Figura 3.1. Contaminación lumínica en el norte de Tenerife. Foto: José Ángel Estévez Armas (<https://www.flickr.com/photos/cestomano/>).

La mayor parte de estos efectos se han descrito en núcleos urbanos, donde los viales de tránsito entre barrios o áreas residenciales próximas y las salidas hacia las carreteras radiales aparecen iluminadas a modo de apéndices desde los núcleos

urbanos. Fuera de estas áreas, la luz emitida por los propios vehículos constituye la más importante y creciente fuente de contaminación lumínica.

Se ha descrito, además, que los carteles y señales luminosas pueden producir un deslumbramiento que reduce la capacidad de discernir obstáculos, especialmente los sistemas basados en tecnología LED (Domke et al. 2011).

Para paliar los impactos generados se ha estudiado el uso de barreras seminaturales, de soportes que permitan una mejor direccionalidad de la luz o la creación de lugares de sombra a modo de refugios para la fauna nocturna (véase Bertolotti y Salmon 2005). De modo general, los estudios apuntan a que la aplicación de una serie de buenas prácticas en el uso de la iluminación disminuyen notablemente su impacto. Estas incluyen: la eliminación de la iluminación en lugares de riesgo para la fauna o flora amenazada, la reducción de los puntos de luz a los estrictamente necesarios, ajustar la intensidad (Hale et al. 2015), adaptar el horario de iluminación a los usos o procurar que la iluminación se concentre en los lugares que interesa tener iluminados, evitando en lo posible su dispersión por el territorio circundante. En algunas de estas tareas resultan de gran utilidad los avances tecnológicos en materia de iluminación que, de forma relativamente sencilla, permiten ajustar la intensidad y el espectro (color) de la luz, así como mejorar su direccionalidad. Esto facilita elegir la combinación que menos impacto tenga sobre la fauna y flora del entorno.

A pesar de la capacidad tecnológica de modificar la intensidad y el espectro de la luz, la complejidad de las respuestas que diferentes organismos muestran a la contaminación lumínica dificulta ofrecer recomendaciones generales.



Figura 3.2. Atracción de efímeras por las luminarias de un puente sobre el río Ebro en la localidad de Tudela (Navarra). Foto: Gobierno de Navarra.

Así, las luces con longitudes de onda de amplio espectro, como algunos LED (pero también las lámparas de vapor de mercurio o las de haluros metálicos) permiten a muchos organismos extender durante la noche los comportamientos dependientes del color, como la alimentación, el emparejamiento, el camuflaje o la depredación, afectando a las interacciones entre especies. Por otro lado, el pico de onda corta (espectro azul) emitido por los leds blancos, coincide con las longitudes de onda a las cuales se producen muchas respuestas biológicas, por lo que son especialmente impactantes sobre invertebrados y aquellos organismos que tienen respuestas fisiológicas mediadas por melatonina (incluidos los humanos; véase Longcore et al. 2017).

Experiencias previas sugieren que las luces rojizas (longitud de onda larga), como las de vapor de sodio a baja presión, son las menos disruptivas para aves (pardelas), algunos mamíferos (incluidos murciélagos) y algunas especies de anuros (Spoelstra et al. 2015, 2017; van Grunsven et al. 2017). Sin embargo, el sistema del fitocromo de las plantas, que entre otras cosas controla la floración, es sensible precisamente a estas longitudes de onda más largas. Por ese y otros motivos, muchos estudios consideran que no existe una solución óptima que favorezca o atenúe el impacto de la iluminación artificial sobre toda la biota y que la mejor opción es no iluminar en absoluto o reducir en lo posible el

horario, periodo o área de iluminación (Stone et al. 2009, Azam et al. 2015). Por tanto, en las fases de planificación y proyecto de las infraestructuras, más que identificar zonas a preservar de la iluminación se deberían considerar las excepciones en las que dicha iluminación es completamente necesaria, pues las medidas existentes para disminuir o paliar su impacto sobre el entorno tienen una efectividad limitada.

Si a pesar de ello es imprescindible dotar a la infraestructura de servicio de alumbrado, este debe adecuarse a los niveles de iluminación imprescindibles, y minimizar el espectro de emisión de las fuentes lumínicas. Aunque, como se ha dicho anteriormente, no existe una solución óptima, diferentes estudios sugieren una mayor sensibilidad de la fauna nocturna en las zonas de onda corta del espectro (inferiores a 500 nm). Así se contempla en diferentes normativas y documentos publicados por organismos oficiales para minimizar las repercusiones ambientales en zonas naturales (Comité Español de Iluminación 2018).

La iluminación exterior está regulada por el Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior. Aunque está dirigido a evitar la contaminación lumínica desde el punto de vista astronómico o de observación del cielo, las recomendaciones son también aplicables a la disminución de la contaminación lumínica para la biodiversidad. Este Real Decreto se aprobó antes de la irrupción de la iluminación LED, por lo que conviene considerar la existencia de normativa más reciente por parte de ayuntamientos, diputaciones, comunidades autónomas (p. ej. Decreto 190/2015 de la *Generalitat de Catalunya*) o documentos técnicos más actualizados como la CIE 150 (2017). El Real Decreto 1890/2008 define el Resplandor Luminoso Nocturno como la

“luminosidad o brillo nocturno producido, entre otras causas, por la luz procedente de las instalaciones de alumbrado exterior, bien por emisión directa hacia el cielo o reflejada por las superficies iluminadas”. El objeto de este Real Decreto, además de mejorar la eficiencia, el ahorro energético y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, es el de “limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta”. A pesar de lo comentado líneas arriba de la existencia de normativa autonómica o municipal, que puede ser más completa o estricta, este Real Decreto constituye la referencia más clara para todo el territorio nacional.

En el Real Decreto 1890/2008, se establece una “clasificación de zonas de protección contra la contaminación luminosa”, en cuatro niveles:

E1: Áreas con entornos o paisajes oscuros:

Observatorios astronómicos de categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés natural, áreas de protección especial, donde las carreteras están sin iluminar. En estas áreas, las instrucciones técnicas complementarias del mencionado Real Decreto sugieren la utilización de lámparas con longitudes de onda superiores a 440 nm.

E2: Áreas de brillo o luminosidad baja:

Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.

E3: Áreas de brillo o luminosidad media:

Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.

E4: Áreas de brillo o luminosidad alta:

Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

No obstante, en documentos más recientes, como la segunda edición de la *Guía para la limitación de los efectos de la luz intrusiva procedente de iluminación exterior*, de la Comisión Internacional de la Iluminación, se incorpora una zona E0, donde la iluminación artificial debe estar completamente ausente (CIE 150:2017).

3.2 Contaminación acústica

Las autovías, autopistas, vías férreas y, en general, todas las infraestructuras de transporte con tráfico conllevan un incremento en el nivel de ruido ambiental. De hecho, se estima que, de manera general, el ruido producido por el tráfico es el principal causante de la contaminación acústica, considerándose un problema de salud ambiental de primera índole.

La Ley del Ruido (Ley 37/2003, de 17 de noviembre) transpone al ordenamiento jurídico español la Directiva 2002/49/CE de 25 de junio, sobre la evaluación y gestión del ruido ambiental. La reglamentación existente hasta entonces se había centrado en las fuentes del ruido, limitando las emisiones (motores, carrocerías y neumáticos más silenciosos, asfalto reductor de emisiones, barreras acústicas, etc.; Figura 3.3), pero la realidad ha demostrado que, pese a la constante mejora tecnológica, el aumento global del tráfico y de la velocidad media resta eficiencia a dichas medidas.

Como instrumento para conocer la exposición al ruido ambiental, la ley contempla los Mapas Estratégicos de Ruido, que se definen como “un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de

distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona”. Se elaboraron dichos mapas para cada uno de los grandes ejes viarios y ferroviarios agrupados en siete zonas geográficas y corredores de tráfico. A partir de ellos, se elaboraron una serie de planes de acción, que identifican los tramos en los que la exposición al ruido excede los valores umbrales para la población y, en el caso de algunas comunidades autónomas y provincias (Andalucía, Cataluña, Guipúzcoa, Murcia y Navarra), también se contempla la afección al medio natural. En las diferentes fases de los planes de acción se va profundizando y especificando mejor las zonas afectadas y se detallan las medidas aplicadas (y las proyectadas) para reducir el ruido. A pesar de sus limitaciones, los mapas de ruido y los planes de acción constituyen el mejor diagnóstico de contaminación sonora generada por las infraestructuras de transporte a nivel de macroescala.



Figura 3.3. Pantallas acústicas en la A-601 a la altura de Gomezserracín (Segovia). Foto: Junta de Castilla y León.

La Ley del Ruido contempla las llamadas reservas de sonidos de origen natural, posibilitando que se puedan establecer planes de conservación de las condiciones acústicas de tales zonas o adoptarse medidas dirigidas a facilitar la percepción de esos sonidos. Estas zonas, por tanto, no tienen por qué ser silenciosas, ya que el espectro acústico de la naturaleza puede

resultar muy amplio: coros de anfibios, insectos, cascadas de agua, etc. Esto dificulta la aplicación de límites sonoros (en términos de dB) en espacios naturales. Es en los planes de ordenación de los recursos naturales y los planes rectores de uso y gestión (PORN y PRUG, respectivamente) donde deben establecerse cuáles son las afecciones de la contaminación sonora, creando la zonificación y las normas generales de uso público. No obstante, una revisión relativamente reciente de los PORN y los PRUG de algunos parques nacionales españoles reveló carencias en el tratamiento de las variables relacionadas con los paisajes sonoros, el ruido ambiental o la contaminación acústica. Esto resultaba patente en la conservación de sonidos singulares de origen natural, manejo de paisajes sonoros, control de las actividades ruidosas en su interior o la potencial amenaza de otras fuentes sonoras exteriores a los límites de los mismos (Iglesias 2014). Este trabajo también encontró umbrales de sensibilidad al ruido para corzos y buitres negros, al nivel de presión sonora equivalente, de 30 y 40 dB, respectivamente. Estos son valores similares a los considerados para el interior de las viviendas durante la noche en diferentes comunidades autónomas, por lo que podrían usarse como referencia orientativa en estos espacios.

Si bien el ruido es una variable relativamente fácil de medir, resulta complicado separar sus efectos particulares sobre la fauna de aquellos que genera el conjunto de la infraestructura. Conviene además separar el ruido crónico al que se enfrentan las poblaciones que viven en la vecindad de las infraestructuras del ruido súbito que se puede producir de forma puntual. Además, dependiendo del relieve y la vegetación, la casuística local puede ser variada, al existir efectos pantalla que limitan o reflejan el sonido a modo de ecos.

Algunos de los efectos del ruido (p. ej. aumento del nivel de estrés) son difíciles de

apreciar a simple vista, lo que dificulta aún más su estudio. Los efectos más conocidos son los que afectan a las aves, ya que son animales que utilizan el sonido como vía de comunicación. Se han descrito impactos de la contaminación acústica sobre la variabilidad del canto, observándose una homogeneización a escala local de la diversidad de cantos o una menor capacidad de respuesta de los individuos sometidos a ruido crónico por el aumento del nivel basal de estrés (Injaian et al. 2018). De hecho, la diversidad de cantos en una población resulta ser un buen predictor de la fragmentación a la que esta se haya sometida, puesto que las aves más aisladas tienen repertorios más pobres (Laiolo y Tella 2005). También hay descritos impactos negativos sobre mamíferos e insectos. Las especies más afectadas suelen ser aquellas en las que el ruido del tráfico se produce en la misma frecuencia o en frecuencias cercanas a las que ellas utilizan para comunicarse. Mención especial merecen las zonas húmedas e inundables por la presencia de anfibios anuros cuyo sistema principal de comunicación en época de reproducción son las vocalizaciones. Dadas las limitadas capacidades locomotoras de este grupo y su enorme sensibilidad al atropello, son susceptibles de ser considerados como uno de los grupos más sensibles a la contaminación acústica. Es importante destacar que el ruido puede extender el efecto de borde de las infraestructuras de transporte, ya que este es audible a distancias donde el hábitat permanece intacto. En ocasiones puede incluso limitar la efectividad de los pasos de fauna construidos para paliar este efecto, ya que el efecto del ruido dificulta que los individuos se acerquen al paso (nótese que a menudo se utilizan bandas sonoras para la reducción de la velocidad de los vehículos en las proximidades de los pasos de fauna).

3.3 Difusión de otros contaminantes

Además de la contaminación por luz y ruido, las infraestructuras de transporte actúan como focos desde los que se emiten otros tipos de contaminación: residuos sólidos, gases de combustión, herbicidas, sales fundentes, etc. Dicha contaminación se produce durante todo el ciclo de vida de las infraestructuras y forma parte del efecto de borde generado por esta hacia los ecosistemas en los que se asienta.

Los contaminantes más frecuentes en las infraestructuras de transporte son hidrocarburos, asbestos, plomo, cadmio y cobre. Los metales pesados y el componente orgánico de las emisiones son frecuentemente adsorbidos por partículas como la arcilla, la arena y el limo, presentes en la propia carretera y sus márgenes, o son absorbidos por la vegetación, mientras que la dispersión de otros contaminantes suele tener mayor alcance. Los compuestos volátiles provienen fundamentalmente de los propios vehículos, que emiten CO₂, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y dióxido de azufre, con un efecto patente en una franja de aproximadamente 100 m desde la fuente de emisión (Bignal et al. 2007). Dependiendo del contaminante y la sensibilidad de las diferentes especies, en esta franja se han constatado cambios en la composición florística, mayores tasas de defoliación, decoloración y ataques de insectos, así como efectos secundarios sobre la fauna de polinizadores. En circunstancias atmosféricas desfavorables (viento dominante procedente de la vía), la elevada concentración de óxidos nitrosos se puede extender hasta los 1.500 m (Jerret et al. 2007).

En cuanto a las partículas en suspensión, su mayor capacidad contaminante se alcanza cuando estas se combinan con los vapores de metales pesados que pudiera haber dispersos en el ambiente. Las partículas también actúan como núcleos de

condensación del agua y de otros vapores, dando lugar a la formación de microgotas en las que gases higroscópicos como SO₂ y NO₂ reaccionan químicamente y entonces pueden ser transportados como ácidos, con lo que se incrementa su agresividad (defoliación, estrés por arrastre de nutrientes esenciales del suelo, etc.). En los casos más graves dan lugar a la llamada lluvia ácida (Menz & Seip 2004). Asimismo, las partículas son capaces de adsorber hidrocarburos aromáticos policíclicos como el benceno, aumentando de esta manera su penetración al organismo por el aparato respiratorio o prolongando su estancia en él, con lo que magnifican su toxicidad (Hernández et al. 2001).

Algunos de los contaminantes generados por la combustión del motor reaccionan para formar contaminantes secundarios, entre los que destaca el ozono troposférico que se produce a partir de reacciones fotoquímicas (activadas por la luz solar). En suma, se considera que el tráfico rodado es la mayor fuente de contaminación atmosférica, contribuyendo con valores de hasta el 64 % de gases nitrosos y partículas (EEA 2012. Véase Figura 3.4).



Figura 3.4. Vista de Madrid desde la M-40 con la característica "boina" de contaminación, asociada al tiempo anticiclónico invernal. Foto: Carlos Rodríguez.

Un caso muy relevante de contaminación generada en las carreteras es el del uso de las sales fundentes empleadas para el deshielo (cloruro de sodio, más raramente de magnesio), que contribuyen a modificar la química del suelo, salinizándolo y disminuyendo su pH. Sus efectos en la vegetación son muy marcados, ocasionando elevadas mortalidades. También presentan

impactos muy nocivos sobre los anfibios, peces y otra fauna acuática, alterando el equilibrio osmótico que mantienen con el medio. La acumulación de sales por lavado y escorrentía hace que su efecto nocivo se vea amplificado en los ecosistemas acuáticos, incluidos acuíferos y embalses para abastecimiento, riego y usos industriales. Como efecto secundario, la salinización de los medios acuáticos facilita la propagación de las especies invasoras que tienen una gran tolerancia a la salinidad, como la almeja asiática (Coldsnow et al. 2018). Conviene recordar también los daños que producen las sales en los vehículos y en la propia estructura de las infraestructuras (daños al hormigón, elementos metálicos, etc.). El uso de sales fundentes se produce mayormente en zonas de montaña donde las heladas y la nieve son fenómenos habituales. Muchas de estas zonas tienen niveles de protección por sus valores naturales, a pesar de lo cual habitualmente se utilizan sales en las infraestructuras que las cruzan sin considerar los efectos nocivos que tienen sobre el medioambiente.

Durante la fase de construcción, en la zona de obras se utiliza maquinaria pesada que produce numerosas emisiones y se manejan materiales con aditivos que pueden ser contaminantes para el suelo, el aire y el agua. Si la construcción se surte de bancos de material local, la excavación, selección de material, carga de los camiones y transporte generan sólidos que se incorporan al aire en forma de polvo en suspensión. Estos pueden tener un radio de acción muy variable, dependiendo de las condiciones meteorológicas. Las zonas más sensibles son aquellas donde la cubierta vegetal es escasa o muy dispersa, como zonas áridas o semiáridas donde el suelo es fácilmente arrastrado por la acción del viento. Además, el agua de lluvia y la que se genera como residuo de los procesos de construcción movilizan todas estas partículas. Esta agua es habitualmente vertida al suelo y se incorpora como parte

de las escorrentías a las aguas superficiales, lo que produce una contaminación de suelos y masas de agua fuera de la zona de influencia directa de la obra. La escorrentía y lixiviación de sustancias como hidrocarburos, aceites, aditivos para hormigones y asfaltos, pinturas e incluso los residuos orgánicos generados por los trabajadores, tienen gran capacidad de contaminar las aguas superficiales y los acuíferos. Por todo ello, es necesario el estudio previo (geológico, climatológico, biológico) de las zonas en las que se produce el aprovisionamiento de materiales para plantear acciones que permitan disminuir la erosión, minimizar la alteración del medio a través del transporte de partículas por el viento, los sistemas acuáticos y el impacto en las comunidades animales y vegetales.

Durante la fase de explotación, las fuentes de emisión de contaminación son también diversas, e incluyen desde iones hasta sólidos en suspensión (véase revisión en Smithers et al. 2016), lo que hace que sea complejo evaluar de forma global su impacto. La principal fuente de emisión de contaminación química a lo largo de las infraestructuras de transporte la constituyen los propios vehículos que usan la infraestructura, así como la infraestructura en sí misma (emisiones de los propios materiales como los aglomerantes asfálticos y bituminosos y las pinturas de señalización) y las actividades de mantenimiento que estas demandan. Los vertidos accidentales de sustancias químicas también constituyen una importante fuente de contaminación química. Algunos químicos afectan solo al área próxima a la carretera, mientras que otros son transportados por el aire o por el agua a distancias mayores. Es el caso de las redes de drenaje, que facilitan la entrada de contaminantes a la red fluvial, con notables aportes de nitrógeno en diversas formas, metales e hidrocarburos, además de insecticidas, herbicidas y las sales fundentes empleadas para el deshielo.

A pesar de que se han hecho esfuerzos por reducir las emisiones de contaminantes, con el plomo como principal abanderado de dicha reducción, la contaminación atmosférica se sigue considerando el principal efecto directo de las infraestructuras de transporte sobre el medioambiente. Sigue siendo también el principal impacto que se monitoriza y sobre el que existe normativa más clara. La ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, actualizada el 23 de diciembre de 2017, regula la calidad del aire y la protección de la atmósfera y establece los objetivos de calidad del aire y los requisitos mínimos de los sistemas de evaluación. Entre otras cosas, esta ley desglosa los contaminantes y actividades a tener en cuenta, así como sus valores umbral y la periodicidad de las medidas, utilizando el sistema SNAP (*Selected Nomenclature for Air Pollution*) como referencia internacionalmente válida. Posteriormente se han traspuesto al ordenamiento jurídico español varias directivas comunitarias para la mejora de la calidad del aire y evitar, prevenir y reducir los efectos nocivos de diferentes sustancias sobre la salud humana y el medioambiente. También se han establecido los métodos de referencia, validación de datos y ubicación de los puntos de medición para la evaluación de la calidad del aire (Real Decreto 102/2011, de 28 de enero; Real Decreto 678/2014, de 1 de agosto; Real Decreto 39/2017, de 27 de enero). Este último prevé la aprobación de un Índice Nacional de Calidad del Aire que permita informar a la ciudadanía española, de una manera clara y homogénea. De forma complementaria, el Real Decreto 818/2018, de 6 de julio, traspone a nuestro ordenamiento jurídico la Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y establece nuevos compromisos nacionales

para la reducción de las emisiones del dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles no metálicos y amoníaco y además limita las emisiones de las partículas finas PM 2,5 (partículas en suspensión menores de 2,5 micras).

3.4 Infraestructuras como puntos de inicio de incendios

Las infraestructuras de transporte han llegado a ser consideradas como un aliado en la lucha contra incendios, ya que sirven de infraestructuras de apoyo a la extinción y de elementos que pueden dificultar la propagación del incendio, al ser franjas carentes de vegetación. No obstante, las evidencias demuestran lo contrario. La mayoría de incendios son causados por el ser humano y sus actividades. Los puntos de inicio de estos fuegos están mucho más cerca de las carreteras y caminos que lo esperado por azar (Figura 3.5). De hecho, los datos de la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF) para el decenio 2006-2015 muestran que el 19 % de los incendios se originaron en infraestructuras de transporte, siendo máxima la probabilidad de ignición en el borde de estas (Modugno, Serra y Badia 2008). Un 17 % adicional se inició en pistas forestales. Esto hace que la probabilidad de incendio constituya un elemento más del efecto de borde, al ser más probable cuanto más cerca de la infraestructura. Los modelos predictivos de incendios elaborados para el territorio español peninsular e islas baleares incluyen como una de las variables predictoras principales la densidad de infraestructuras de transporte (carreteras y vías férreas; Martínez et al. 2009). Así lo recogen diversos planes y estrategias contra incendios en diferentes comunidades autónomas.



Figura 3.5. Pequeño incendio originado entre la A-1 y la AP-1 a la altura de Quintanapalla (Burgos). Foto: Junta de Castilla y León.

Fuentes azarosas de ignición como las colillas tiradas desde los vehículos, que según la EGIF apenas suponen un 2 % de las fuentes de ignición han recibido la atención de varias campañas de sensibilización y penalización. El propio tránsito de vehículos también puede provocar incendios por la carbonilla que expelen los tubos de escape o por las chispas generadas por mal funcionamiento de ferrocarriles y maquinaria pesada, así como los accidentes de tráfico donde la fuente de ignición es el propio vehículo.

Otra causa frecuente de incendios en márgenes de carreteras es la aparición de focos secundarios generados por pavesas procedentes de incendios activos que al caer sobre materia vegetal seca de las márgenes de las vías facilitan la ignición y posible propagación del fuego. En este sentido, se ha prestado poca atención a las especies que se utilizan en las revegetaciones. Muchas de estas especies, ya sea plantadas o implantadas mediante hidrosiembra, conducen a modelos de combustible que propagan el fuego con facilidad, puesto que combinan especies anuales que en verano se secan y se convierten en combustibles finos muertos y especies subarborescentes de madera fina y

seca, que son muy susceptibles a la ignición y combustión. Es por tanto importante considerar este aspecto en las zonas forestales con mayor riesgo de incendio.

El riesgo de incendio en los márgenes de las infraestructuras puede llegar a comprometer la seguridad vial y constituir un riesgo para los vehículos y personas que circulan por ellas, especialmente en zonas de matriz urbano-forestal. En estas áreas, las vías de comunicación de poca anchura pueden requerir la adecuación de la vegetación anexa (fajas auxiliares). Además del riesgo de incendio en la vía y sus márgenes, es necesario considerar la potencial propagación del incendio al entorno de la infraestructura, especialmente si afecta a grandes masas forestales. En estas, el riesgo de incendio se define en función de varios factores, algunos de los cuales son estáticos: el relieve, la pendiente o la combustibilidad de las especies que conforman la mancha forestal; y otros dinámicos: la sequedad de la mancha forestal o el tiempo atmosférico (viento, temperatura y humedad relativa del aire).

Un tercer factor, que tiene que ver con la recurrencia de incendios en la zona, añade un componente idiosincrático que suele estar más relacionado con modelos de

gestión local de las masas forestales y de la vegetación, así como la distribución espacial de la población, haciendo mucho más probables los incendios en determinadas regiones españolas (Martínez et al. 2009; Figura 3.6). La fase de planificación de las infraestructuras es crucial en este sentido, ya que el riesgo de incendio puede variar mucho en función del trazado que se elija. Las fases de proyecto y construcción son también importantes porque determinan la dotación de

infraestructuras específicas para la lucha contra incendios, el aprovechamiento del agua de escorrentía para su uso por los equipos de extinción, la disposición espacial y la selección de especies en las revegetaciones o la selección y correcta ejecución de los pasos de fauna. Finalmente, el mantenimiento de los márgenes durante la fase de explotación también determina la probabilidad de que un accidente o una negligencia acaben desatando un incendio.

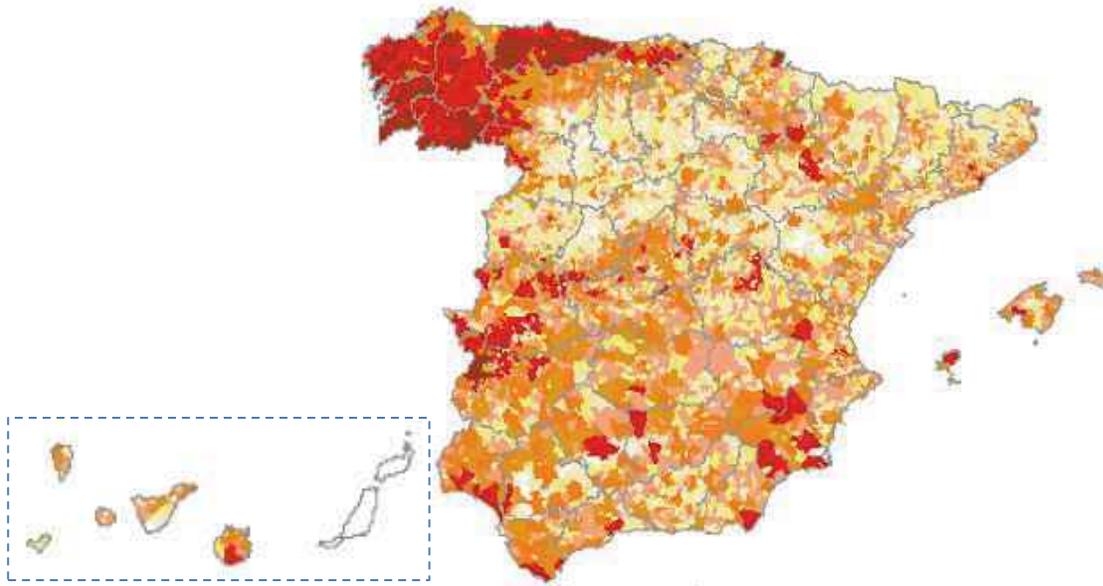


Figura 3.6. Frecuencia de incendios ocurridos entre los años 2001 y 2014. Los tonos más oscuros indican una mayor recurrencia de incendios. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica, 2016.

3.5 Frecuentación antrópica

La frecuentación antrópica en los bordes de las vías, que se extiende desde ellas hacia las zonas circundantes, está ligada, fundamentalmente, a áreas de servicio, zonas de descanso, miradores, parques de conservación y, en menor medida, estaciones de aforo y zonas de almacenamiento de fundentes de vialidad invernal (Figura 3.7). Esta mayor presencia de personas en la vía y sus proximidades incrementa algunos de los impactos descritos anteriormente, especialmente el riesgo de incendios y la entrada de contaminantes, así como el establecimiento y posterior dispersión de fauna o flora exótica (véase apartado 3.7), amplificando el efecto de borde de la infraestructura.

La presencia de personas supone un impacto directo sobre el medio (pisoteo, recolección, expolio), así como una fuente de molestias que producen cambios en el comportamiento de algunas especies o incluso compromete la reproducción de aquellos individuos más cercanos a estas zonas de mayor frecuentación antrópica (Rodríguez-Prieto y Fernández-Juricic 2005). Cabe destacar que si bien el efecto se produce a lo largo de toda la vía, su impacto es mayor en lugares de gran belleza paisajística (miradores, roquedos) o en aquellos que ofrecen recursos apreciados como la sombra o la existencia de manantiales o fuentes, que a su vez pueden albergar flora y fauna sensibles. Para la mitigación de este impacto, estos efectos se tienen que considerar desde la fase de planificación hasta la fase de explotación de la vía.

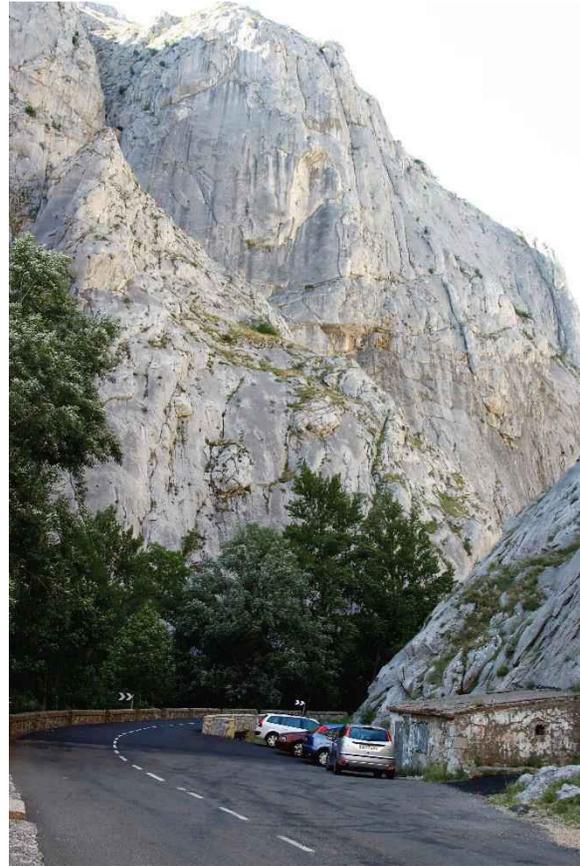


Figura 3.7. Aumento de la frecuentación antrópica en el margen de la LE-321 por la existencia de un estacionamiento. Hoces de Valdeteja (León). Foto: Eloy Revilla.

Las fases de planificación y proyecto son cruciales a la hora de seleccionar el trazado menos impactante y, una vez elegido, ubicar las áreas de mayor frecuentación antrópica en puntos alejados de los lugares ambientalmente más sensibles. Esta recomendación se aplica también a la fase de construcción, durante la cual es posible identificar lugares que concentran una mayor presencia humana: zonas destinadas a almacén, parques de maquinaria y descanso de los trabajadores.

3.6 Escorrentía y gestión de aguas

Independientemente de dónde se sitúe la infraestructura, esta afecta a la red de drenaje, alterando la hidrología local en forma de modificaciones en el flujo de agua superficial y subterránea, así como a la calidad de la misma. Estos efectos son diferentes durante las fases de construcción y explotación de la infraestructura.

Durante la fase de construcción, la extracción local de materiales genera cambios en el micro relieve, creando depresiones en los puntos de préstamo y elevaciones en los de acumulación de material. Estos cambios modifican la red de drenaje superficial, siendo más graves cuanto mayor es la pendiente. La acción de las nuevas escorrentías forma un sistema de drenaje superficial nuevo, cuyos efectos se desplazan aguas arriba y aguas abajo por toda la red de drenaje.

El material suelto generado por las excavaciones puede ser arrastrado fácilmente por las escorrentías provocadas por la lluvia para depositarse en los arroyos y masas de agua. La presencia de sólidos en estos ecosistemas evita la penetración de la luz y los procesos de fotosíntesis de algunos organismos acuáticos. Estos sedimentos, además, interactúan con los cauces de los arroyos modificando su estructura, depositándose en los canales y creando pozas más someras, lo que, combinado con el lógico aumento de la turbidez, aumenta la temperatura del agua. Es también importante el efecto negativo en los frezaderos de peces y anfibios en zonas de montaña. Los sólidos en suspensión alteran también los ciclos de equilibrio químico generando, entre otras cosas, una mayor demanda de oxígeno y, en consecuencia, la eutrofización de la masa de agua.

Todas estas alteraciones suponen un cambio drástico de las condiciones ecológicas de la red fluvial, de las que dependen tanto la fauna como la flora

acuática, que verán comprometida su supervivencia en el área de impacto del proyecto.

Por otro lado, la destrucción repentina de la cobertura vegetal preexistente puede provocar cambios en el microclima por la ausencia de la vegetación que generaba sombra sobre el suelo y aumentaba la evapotranspiración y su sustitución por un pavimento que absorbe calor. En proyectos de grandes dimensiones en los que la zona de construcción de la infraestructura estuviera cubierta por una comunidad forestal bien establecida, los cambios pueden llegar a ser mesoclimáticos, provocando variaciones en la recarga de los acuíferos por alteración de los ciclos hidrológicos; lo que a su vez plantea dificultades para la sucesión ecológica, necesaria para la restauración de las zonas afectadas.

Las carreteras y caminos pueden actuar como barreras al flujo natural del agua, pudiendo provocar la rotura de los terraplenes que han apresado la escorrentía. También pueden actuar como aceleradoras del flujo, aumentando la erosión de materiales que se puede generar en las laderas con elevada pendiente que no hayan sido estabilizadas de manera adecuada.

Durante la fase de explotación, el impacto de las carreteras sobre los sistemas acuáticos depende en gran medida de su localización en relación a la red de drenaje y a la pendiente, así como de las propias estructuras instaladas en la infraestructura para limitar los problemas asociados a la escorrentía. La norma 5.2 - IC (Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero) regula las obras de drenaje superficial de las carreteras del Estado y, entre otras muchas consideraciones, determina que no se debe verter directamente el contenido de la red de drenaje al medio en áreas ambientalmente sensibles. Además, muchas comunidades autónomas tienen

reglamentación propia al respecto. Esto obliga a los proyectos constructivos a considerar medidas alternativas de acumulación y tratamiento previo de la escorrentía: colectores y canales de drenaje, estructuras de frenado, imbornales o balsas de decantación, o de reconducción a zonas no sensibles. Estos sistemas de protección no suelen considerarse en caminos y pistas no pavimentados, en los que los problemas de escorrentía y erosión se manifiestan de manera más importante.

A escala de paisaje, la red de carreteras interacciona con las redes fluviales alterando los flujos de corriente, pudiendo actuar como una extensión de la red de drenaje de las masas de agua tanto lóaticas

(ríos y arroyos) como lénticas (humedales con aguas estancadas). Generalmente la intersección de una infraestructura con un río o arroyo acelera la velocidad del agua al producirse un estrechamiento del cauce en los puentes, incrementando la energía del sistema, erosionando los cauces y aumentando la probabilidad de que se produzcan inundaciones aguas abajo. A menudo, las diferentes tasas de erosión del cauce intersectado y el material de construcción de los drenajes hacen que se generen saltos de agua que constituyen nuevas barreras a la fauna acuática (Figura 3.8), al igual que sucede con los caminos de obra que interrumpen cauces fluviales.



Figura 3.8. Puente sobre el río Burgantó (Girona). La erosión diferencial sobre el lecho de hormigón y el cauce natural, aguas abajo del puente, forma una barrera al movimiento de animales acuáticos por el cauce. Foto: Miguel Clavero.

3.7 Establecimiento y dispersión de especies exóticas invasoras

Numerosas especies de plantas y animales son capaces de explotar el espacio disponible en los márgenes de las infraestructuras. Una vez establecidas, tienen la capacidad de extenderse a lo largo de los taludes, márgenes y medianas, ayudadas, en algunos casos, por los propios vehículos que contribuyen a dispersar individuos, semillas y otros propágulos a lo largo de la vía (Figura 3.9).

Entre las especies más favorecidas están las especies exóticas invasoras (EEI), aquellas especies no nativas que se introducen o establecen en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que son agentes de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor o por el riesgo de contaminación genética. Suelen ser especies generalistas, capaces de sobrevivir en muy diferentes condiciones ecológicas y que encuentran abundante luz y poca competencia en los márgenes alterados de las infraestructuras, por lo que pueden establecerse con relativa facilidad. Además, suelen contar con eficientes sistemas de dispersión y son repetidamente introducidas por los vehículos que las transportan de múltiples maneras, como por ejemplo las semillas que viajan incrustadas en los dibujos de los neumáticos y que son liberadas cuando los vehículos alcanzan mayor velocidad, o el caso de los insectos, como el mosquito tigre, que viajan en el interior de los vehículos. Eso unido a la casi ubicuidad y continuo crecimiento de las infraestructuras de transporte en el territorio, hace que las carreteras y vías férreas sean espacios especialmente sensibles a la invasión y principal factor causante de la dispersión exitosa de fauna y flora exótica. En España, las EEI más frecuentes son de origen tropical o subtropical y se asientan, preferentemente, en lugares con gran impacto antrópico, baja altitud y de clima

seco y cálido (Gasso et al. 2009). No obstante, hay casos documentados de EEI en prácticamente todos los ecosistemas y zonas geográficas de España.

Aparte de la frecuente entrada de semillas y propágulos y su asentamiento en los márgenes, hay dos mecanismos adicionales que favorecen a las EEI en las infraestructuras: el uso de especies inadecuadas en las revegetaciones y los movimientos de tierras durante las obras.



Figura 3.9. Márgenes de la A-8076 a la altura de Coca de la Piñera (Sevilla) con ailantos en su margen derecho y robinias en el izquierdo. Se aprecia el potencial colonizador del ailanto en forma de nuevos vástagos (primer plano). Foto: Carlos Rodríguez

A pesar de que las EEI están actualmente consideradas como la segunda mayor amenaza para la biodiversidad del planeta, tras la pérdida de hábitat (Clavero y García-Berthou 2005), tal consideración no ha sido aún incorporada de forma eficiente en la revegetación de los márgenes, medianas y taludes de las infraestructuras de transporte, cuyo valor de interacción ecológica con el entorno ha sido considerado solo recientemente (Valladares et al. 2011). De hecho, históricamente se han venido utilizando de manera intencionada EEI en la revegetación de márgenes de infraestructuras. Así, es frecuente ver en España muchos kilómetros de márgenes de infraestructuras ocupados por EEI (*Acacia dealbata*, *Agave americana*, *Ailanthus altissima*, *Cortaderia selloana*, *Pennisetum setaceum* o *Robinia*

pseudoacacia, entre otras), que provocan frentes de invasión que surgen desde ellos hacia el interior de las zonas naturales y cultivos circundantes. Como resultado, nuestras infraestructuras de transporte son, a la vez, reserva y foco de introducción de EEI, lo que nos aleja de los objetivos tanto nacionales como comunitarios en materia de conservación de la biodiversidad.

El movimiento de tierras asociado a la construcción de infraestructuras lineales constituye uno de los procesos geomorfológicos más activos y efectivos a escala global. En España, se estima que esta actividad tiene una magnitud similar al transporte de sedimentos desde los ríos hasta los océanos (Barbero 2013). Gran parte de las plantas exóticas invasoras detectadas en España están favorecidas por estas actividades, por lo que el riesgo de expansión asociado a la construcción de infraestructuras es alto. Ello no impide que el banco de semillas latente en el sustrato utilizado para la construcción de la infraestructura pueda constituir también un recurso valioso en la revegetación de los márgenes, ya que contiene semillas y propágulos de las especies autóctonas ya presentes en el área. Este banco de semillas, así como las provenientes de la vegetación nativa de los alrededores, es el mejor material disponible para la revegetación de márgenes, medianas y taludes. Además, simplifica la tarea de

selección de especies, disminuye el número de marras y abarata sustancialmente las tareas de revegetación. Esta dualidad hace que resulte de gran importancia la detección de EEI en las fases previas al movimiento de tierras, ya que esto determinará la necesidad de tratamientos de erradicación y su programación durante las fases de proyecto, construcción y explotación.

Un caso particular es el de los patógenos u organismos de cuarentena. La entrada en España de *Phytophthora cinnamomi*, *Xylella fastidiosa* o *Erwinia amylovora*, por poner alguno de los ejemplos más conocidos, está asociada al movimiento de plantas, principalmente ornamentales o agrícolas. Muchas de estas plantas son susceptibles de ser usadas en la revegetación de márgenes, sirviendo de fuente de inóculo para la infección de cultivos y vegetación silvestre localizados en la vecindad de las infraestructuras.

El artículo 54.2 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, modificado por la Ley 7/2018, de 20 de junio, prohíbe la introducción, en todo el territorio nacional, de especies y subespecies alóctonas, cuando estas sean susceptibles de competir con las especies silvestres autóctonas, alterar su pureza genética o los equilibrios ecológicos.



NOMBRE COMÚN: Mimosa, acacia francesa.

TAXONOMÍA: Phylum: Magnoliophyta. Clase: Magnoliopsida. Orden: Fabales. Familia: Mimosaceae.

DISTRIBUCIÓN GENERAL NATIVA: Sureste de Australia y Tasmania.

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Árbol perennifolio erecto, de 2-15 m de altura, aunque puede alcanzar los 30 m. El tronco es liso o algo agrietado, de color marrón grisáceo a gris oscuro; los tallos jóvenes tienen el color más suave. Las hojas son compuestas, de color verde plateado, bipinnadas, de hasta 10 cm de largo, con 7-26 pares de pinnas de 15-30 mm de largo, cada una de las cuales presenta entre 20 y 50 pares de pinulas lineares de 2-5 mm de longitud. Tiene una glándula prominente en la inserción de cada par de pinnas y en el pecíolo.

Las inflorescencias son muy características, en glómérulos globosos amarillo dorado o amarillo limón de unos 5 mm de diámetro, olorosos y agrupados en racimos o paniculas. Las flores presentan el cáliz y la corola en forma de campana; tienen largos estambres que sobresalen de la corola. El fruto es una legumbre comprimida, dehiscente, con constricciones entre las semillas, de color verde, azulado glauco o pardo rojizo, de 4 a 10 cm de longitud. Las semillas son oscuras, de 4-5 mm, en forma de elipse comprimida y se disponen longitudinalmente en la vaina.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS DE LA ESPECIE FRENTE A OTRAS DE POSIBLE CONFUSIÓN

Figura 3.10. Fragmento de la ficha correspondiente a *Acacia dealbata* disponible en la versión electrónica del Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras.

La lista de especies que cumplen la definición de exótica invasora contenida en la ley está incluida en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, que se deberá ir actualizando conforme aumente el conocimiento sobre el impacto causado por estas especies sobre la biodiversidad autóctona. El Catálogo es la mejor herramienta de referencia que nos permite identificar especies problemáticas y así prevenir su introducción durante las obras de revegetación de las infraestructuras. El Catálogo incluye todas aquellas especies y subespecies exóticas invasoras que constituyen, o pueden llegar a constituir, una amenaza grave para las especies autóctonas, los hábitats, los ecosistemas, la agronomía o para los recursos económicos asociados al uso del patrimonio natural, según determina la normativa. El contenido del Catálogo puede consultarse en la sede electrónica del Ministerio para la Transición Ecológica. Resulta especialmente útil, pues contiene una ficha por cada especie (Figura 3.10). Además de la descripción ilustrada de la especie, la ficha indica si existe posibilidad de confusión con alguna otra especie, así como las características ecológicas que facilitan su introducción o dificultan su erradicación. Dicha sede electrónica también ofrece capas de cartografía detallada para cada especie.

Además de este instrumento de carácter estatal, algunas comunidades autónomas han elaborado sus propios catálogos con el subconjunto de especies que afecta o puede afectar a su territorio (especialmente relevantes en Baleares y Canarias). En ellos se incluyen detalles útiles para su gestión y tanto actividades como material adicional para el conocimiento de las especies o de las actuaciones llevadas a cabo hasta la fecha (Figura 3.11).

Asimismo, existe una norma comunitaria, el Reglamento (UE) 1143/2014, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014, sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de EEI. Establece, como en el caso de la normativa española, una lista de especies reguladas (Listado de Especies Preocupantes para la Unión Europea) que deben controlarse y, en su caso, erradicarse. Y cuya posesión, tráfico y utilización queda en principio prohibida.

Como elementos disponibles para la obtención de información, existen diferentes redes supranacionales como la global (GISIN) o la europea (EASIN), que pueden servir de punto de consulta para la toma de decisiones acerca de las especies que puedan estar presentes en márgenes de infraestructuras lineales.

RD 630/2013

Asparagus asparagoides (L.) Druce.

Actuaciones de gestión

Estrategia/objetivo
Control de poblaciones invasoras en hábitats de interés comunitario (arenales costeros con *Juniperus* spp. y *Pinus* spp.).

Localidades
Parque Periurbano de La Barrosa (Chiclana, Cádiz).

Metodología
Debido a la existencia de flora amenazada, se procedió mediante eliminación manual selectiva, tanto de la parte aérea como de la masa de bulbos subterráneos.



A. asparagoides asfixiando a un enebro costero (*Juniperus macrocarpa*).

Figura 3.11. Fragmento de la ficha del Catálogo Andaluz de Especies Exóticas Invasoras correspondiente al *Asparagus asparagoides*.

La EASIN dispone de varias herramientas en línea y funciones web para facilitar la búsqueda de información adicional acerca de cada especie, incluyendo información cartográfica para cada país (<http://easin.jrc.ec.europa.eu>). Esta información es sumamente útil a la hora de evaluar especies que, si bien no están incluidas en el Catálogo Español de EEI, sí son consideradas invasoras en otros países y ante las que habría que actuar tan pronto como se conociera su presencia en el territorio nacional.

Si bien la normativa es clara y de obligado cumplimiento, su puesta en práctica puede ser problemática por la existencia de sinonimias, disponibilidad de EEI erróneamente etiquetadas en los viveros y posibilidad de contaminación cruzada (plantones que no pertenecen a especies del Catálogo, pero portan semillas o propágulos de EEI entre sus ramas o en el cepellón). Además, gran parte de las EEI fueron antes catalogadas simplemente como exóticas, adquiriendo con el tiempo, el calificativo de invasoras, por lo que el principio de precaución sugiere considerar todas las plantas exóticas como potencialmente invasoras. Es por tanto recomendable la adquisición del material para la revegetación en viveros de planta autóctona, donde no exista la posibilidad de introducir especies alóctonas bien de forma directa o indirecta.

A pesar de todas estas medidas preventivas, que constituyen el pilar fundamental de lucha contra las EEI, también es necesario contemplar su implantación en el territorio y por lo tanto su gestión activa. Esto incluye, por un lado, la alerta precoz y respuesta rápida y, por el otro, el tratamiento o erradicación (Capdevila et al. 2006). Con respecto a la alerta precoz y respuesta rápida, el artículo 14 del Real Decreto 630/2013 de 2 de agosto, que regula el Catálogo, crea la Red de Alerta para la vigilancia de especies exóticas invasoras para facilitar la coordinación y la

comunicación entre las administraciones competentes, que deberán informar respecto de la aparición y detección de EEI que ocurran en su territorio. Dichas administraciones, a su vez, ofrecen al ciudadano diferentes herramientas (teléfonos, formularios web) para informar de su detección (Figura 3.12). De la misma manera, el Reglamento Europeo 1143/2014 establece un sistema de detección temprana y erradicación rápida para las EEI consideradas preocupantes para la Unión.

Dada la limitación de recursos disponibles y los variados grados de agresividad y peligrosidad de las diferentes EEI, es necesario establecer jerarquías a la hora de identificar y gestionar cada una de las especies. Dicha jerarquía se establece en función de sus impactos ecológicos, económicos y sobre la salud, de su potencial invasor y de la dificultad de control que presenten las distintas especies. Esto permite identificar aquellas para las que la detección y gestión temprana son más importantes. En el caso de España, actualmente solo existe un plan de control y eliminación de EEI circunscrito a los ecosistemas dunares, así como la estrategia de gestión, control y posible erradicación del plumero de la pampa (*Cortaderia selloana*) y otras especies de cortaderia. No obstante, las diferentes comunidades autónomas desarrollan programas específicos destinados a la erradicación de diferentes especies.

En el caso de las infraestructuras de transporte, es necesaria la aplicación de modelos de detección y gestión de EEI desde las etapas de planificación hasta las de explotación de la vía. El objetivo es evitar la expansión de EEI asociada a la construcción de infraestructuras, así como aprovechar las etapas de construcción y explotación para llevar a cabo tratamientos de erradicación de estas especies, impidiendo así su propagación por todo el territorio nacional aprovechando el elemento vertebrador que suponen las

infraestructuras de transporte. Dicha eliminación deberá seguir los protocolos establecidos para cada especie, ya que no siempre el mismo método resulta igualmente efectivo y en ocasiones puede resultar incluso contraproducente. Por ejemplo, el senecio de El Cabo (*Senecio inaequidens*) es una planta invasora de zonas de pasto que desplaza a la flora autóctona formando una alfombra monoespecífica que ocupa todo el espacio disponible. Crece preferentemente en zonas soleadas por lo que los bordes de caminos y carreteras son sus vías preferidas de

propagación. Para la eliminación de esta planta, al igual que otras como *Conyza bonaerensis*, se procede a su control mecánico, ya que se puede controlar mediante el laboreo periódico del suelo. En otras ocasiones, como sucede con el rabogato (*Pennisetum setaceum*) o el plumero de la pampa, el carácter invasor depende en gran medida de su gran capacidad para generar semillas, por lo que las tareas cotidianas de desbroce no hacen sino exacerbar esa capacidad, dispersando aún más lejos sus semillas y agravando la invasión.

Si descubres una especie invasora...

¡¡ Red de ALERTA !!



¡Las especies invasoras son un problema de todos y su colaboración es fundamental!

¡Colabore con nosotros y avisenos si detecta cualquier especie invasora en el medio natural!

Para ayudarle a localizar el sitio de avistamiento puede utilizar MapsLive, GoogleMaps, IDE o el SIGPAC:

Nombre: <input type="text"/>	Apellidos: <input type="text"/>
Email: <input type="text"/>	Teléfono: <input type="text"/>
Datos de avistamiento:	
Localidad: <input type="text"/>	Paraje: <input type="text"/>
Coordenadas UTM: Coord X: <input type="text"/>	Especie observada: <input type="text" value="Agrio, vinagrera (Oxalis pes-caprae)"/>
Coord Y: <input type="text"/>	
Huso (29 ó 30): <input type="text"/>	Datum: <input type="text" value="WGS84"/>

(Puede usar el SIGPAC para ayudarse en la localización de las coordenadas UTM)

Observaciones:

Adjuntar fotos:

Si quieres también puedes contactar por email en : invasoras@juntaex.es

Figura 3.12. Ficha normalizada sobre la observación de especies exóticas ofrecida por la red de alerta temprana de la Junta de Extremadura frente a las invasiones biológicas.

3.8 Establecimiento de especies potencialmente conflictivas en los márgenes

Las carreteras y sus márgenes constituyen el hábitat de algunos animales como micromamíferos y artrópodos, proveen de lugares de nidificación y forrajeo a algunas aves, mientras que las víctimas de colisiones y atropellos constituyen una fuente de alimento para carroñeros.

El uso de las carreteras por parte de los animales depende en gran medida de su ubicación y el diseño y mantenimiento de los márgenes, así como de la intensidad del tráfico. Diferencias en la frecuencia de desbroce o la cubierta vegetal elegida en relación al entorno influyen en cómo la carretera impacta sobre las poblaciones de aves, insectos y mamíferos. De igual modo, el tráfico que soporta la vía puede determinar el uso que de ella hacen las diferentes especies. Las rapaces, por ejemplo, muestran patrones temporales de actividad asociados a este factor (Bautista et al 2004). Otras especies como zorros y lobos también utilizan las carreteras, especialmente las menos frecuentadas, para moverse más fácilmente a través del territorio. En zonas forestales, los murciélagos cazan a menudo sobre las carreteras, ya que generan espacios libres de vegetación que favorecen esta actividad. Independientemente de los usos que diferentes animales pueden darle a la carretera o sus márgenes, conviene recordar que la mayoría de las especies las perciben como hábitat inhóspito y una barrera a sus movimientos.



Figura 3. 13. Zorro rojo usando la carretera para moverse por el territorio. Foto: Jacinto Román.

En ocasiones, cuando el hábitat circundante ha sido profundamente modificado, como en las amplias zonas cultivables del centro y sur de la península, los márgenes de la carretera pueden constituir remanentes de vegetación nativa y ser importantes fuentes de biodiversidad en el paisaje, especialmente en aquellas con baja intensidad de tráfico. En estos casos, el papel de la carretera como corredor es también significativo. Esto ocurre por ejemplo con el topillo de Cabrera (*Microtus cabreræ*), especie en peligro de extinción en España, que vive en pastizales altos y húmedos. En sistemas adeshados con una elevada carga de herbívoros, a menudo sus poblaciones ven restringido su hábitat a los márgenes de las carreteras que, por efecto del vallado perimetral, mantienen un pastizal alto libre de ganado.

De hecho, el uso de los márgenes de las carreteras por las diferentes especies no radica en una especial atracción hacia estos sitios, sino que frecuentemente se debe a las diferencias en la disponibilidad, calidad o permanencia de distintos recursos en relación al paisaje circundante y el efecto de la exclusión de los depredadores.

En el caso del conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*), las proliferaciones en infraestructuras de transporte se dan principalmente en ambientes agrícolas, pues los márgenes sirven como zonas de refugio cuando los campos se aran, permaneciendo como únicos sitios con una predecible disponibilidad de alimento, agua y estabilidad o humedad de los suelos (Figura 3.13). También son frecuentes en ambientes urbanos y periurbanos, al ser los únicos lugares con recursos disponibles. Las diferencias de abundancia en diferentes márgenes dependen principalmente de las variaciones en esos mismos recursos a lo largo de la infraestructura. Cuando las carreteras atraviesan paisajes altamente humanizados, como la meseta norte peninsular, la abundancia de conejos parece depender mucho más de características de

la vía como la anchura del margen que del territorio circundante (Planillo y Malo 2018), tal y como también se ha descrito en otros países.

La mayor parte de las especies que se ven atraídas por las carreteras no generan problemas, aparte del propio riesgo de atropello (véase apartado 3.9). Sin embargo, hay algunas especies favorecidas por las condiciones de los márgenes, y que se instalan en ellos, pudiendo poner en riesgo la estabilidad de la propia infraestructura, como es el caso de los conejos, los topillos (género *Microtus*, principalmente *M. arvalis*) o la invasora rata almizclera (*Ondatra zibethicus*), que puede causar graves daños a carreteras o diques. Estas especies comparten una serie de características ecológicas que ayudan a entender los problemas que generan y sus posibles

soluciones: 1) son especies presa, 2) viven en galerías subterráneas que ellos mismos excavan y 3) pueden alcanzar elevadas densidades.

Además, los taludes construidos en el entorno mediterráneo español sobre materiales no consolidados presentan unos condicionantes climáticos y unas propiedades físicas que los hace muy vulnerables a los procesos de erosión hídrica, lo que dificulta enormemente su restauración y agrava el impacto de la fauna con hábitos excavadores. Esto es especialmente importante en vías férreas cuyos taludes tienen una elevada pendiente que además de hacerlos más sensibles a la excavación, resultan muy atractivos para los conejos.



Figura 3.13. Conejeras en talud de vía férrea. Foto: Jacinto Román.

3.9 Atracción de especies que sufren mortalidad por atropello

Los atropellos constituyen una de las mayores fuentes de mortalidad animal directa ligada a las actividades humanas. Es especialmente importante en el caso de insectos, anfibios y reptiles, pero igualmente destacable en aves carroñeras y mamíferos de mediano y gran tamaño. La mayoría de estudios consideran este efecto como parte del efecto barrera que las infraestructuras suponen al dificultar o impedir el movimiento de los individuos y fragmentar las poblaciones reproductoras, reduciendo o impidiendo el intercambio genético entre ellas y aumentando, por tanto, el riesgo de extinción local de cada una de las subpoblaciones generadas por el efecto fragmentador de la infraestructura. Incluso cuando el impacto en su tasa de mortalidad no es elevado, muchas especies alteran su comportamiento cerca de las carreteras y hay casos en que, con el tiempo, los individuos aprenden a evitar tanto las colisiones como las actividades humanas en general, modificando sus patrones espaciales y temporales de actividad. Para algunas especies, estos cambios suponen una fuente de estrés importante que modifica parámetros esenciales para su supervivencia.

Los animales pueden acceder a las carreteras porque estas atraviesan sus áreas de campeo o rutas de dispersión o migración, por lo que fácilmente acaban en ellas cuando se mueven para buscar alimento o hacia sus áreas de invernada o reproducción. Para evitarlo, es necesario identificar aquellos factores que aumentan el riesgo de atropello de fauna, como la existencia de masas de agua (aunque sean efímeras) en el entorno de la vía, o los patrones de dispersión o búsqueda de alimento de las especies potencialmente implicadas, ya que numerosos estudios han encontrado que estos patrones, tanto espaciales como temporales, influyen en las tasas de atropello. Es también importante la

correcta planificación y localización de los pasos de fauna en función de los patrones de atropellos detectados o del riesgo esperado de que se produzcan (MAGRAMA 2015).

Pero los animales también pueden verse atraídos por recursos que se encuentran asociados a la presencia de carreteras, como el propio asfalto, usado como elemento termorregulador por reptiles (Figura 3.14) o el hábitat que se genera con la revegetación de los márgenes y que en muchos casos constituye el único hábitat disponible para algunas especies. Además del ejemplo del topillo de Cabrera citado en el apartado previo, es también el caso de especies de bosque o matorral que pueden verse atraídas por los árboles y arbustos plantados en los márgenes y que no existen en las inmediaciones. Los animales atropellados (desde insectos a grandes vertebrados) pueden ser fuente de atracción de animales que se alimenten de ese recurso. Del mismo modo, la sal utilizada como fundente para la vialidad invernal puede constituir un factor atrayente para herbívoros de mediano y gran tamaño, especialmente durante la fase de desarrollo de la cuerna. Por último, las luminarias de las vías pueden generar una importante atracción sobre mariposas nocturnas, efímeras y otros insectos, así como de sus depredadores (véase apartado 3.1).



Figura 3.14. Lagarto Ocelado (*Timon lepidus*) atropellado en Aznalcázar (Sevilla). Foto: Jacinto Román.

4

Aplicación de medidas

1

Presentación

2

Conceptos

3

Descripción
de los efectos

4

Aplicación de
medidas

5

Bibliografía

6

Apéndice

4.1 Ámbito y alcance de las intervenciones

Los diferentes efectos que las infraestructuras de transporte tienen sobre la biodiversidad son de mayor relevancia en aquellos lugares donde el componente biológico tiene mayor importancia. La existencia de hábitats prioritarios o especies catalogadas en la vecindad de las infraestructuras los hace más sensibles a sus efectos. Por ello, en este capítulo se subraya la importancia de aplicar las prescripciones y sugerencias dadas en las fichas (apartado 4.3) en las áreas que se engloban bajo la denominación de áreas ambientalmente sensibles. Estas son las que forman parte de la Infraestructura Verde y, en todo caso:

- Espacios naturales protegidos.
- Red Natura 2000.
- Otras áreas de alto valor natural.
- Corredores ecológicos, ya sean riberas o los que se identifiquen como tal.
- Zonas de afección de especies catalogadas.

Muchas de las recomendaciones son útiles también en zonas pobladas, ya que, de manera general, los humanos sufren también los efectos derivados de las infraestructuras de transporte de manera similar a los de muchas otras especies de mamíferos.

4.2 Consideraciones generales

Las prescripciones técnicas incluidas en este documento se dirigen a las fases de la planificación, el proyecto, el mantenimiento y la explotación de infraestructuras lineales terrestres. Su utilización, sin embargo, no exime de la necesidad de usar información procedente de otras fuentes más actualizadas y del seguimiento de los requerimientos legales que determina la legislación vigente en materia de infraestructuras y de medioambiente. Es, por tanto, muy recomendable referirse a las estrategias de conservación en vigor y sus respectivas actualizaciones, tanto del Estado como de las comunidades autónomas. Por ejemplo: especies catalogadas, especies invasoras, estrategias de infraestructura verde, estrategias de cambio climático, etc.

La complejidad de los problemas a abordar, así como el reparto de competencias entre distintos niveles administrativos y, para una misma administración, entre departamentos, hace que sea importante recordar la necesidad de coordinación entre las administraciones con diferentes competencias en la materia o relacionadas con ella.

4.3 Fichas descriptivas de medidas

Ficha 1: CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Ficha 2: CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Ficha 3: DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

Ficha 4: INICIO Y PROPAGACIÓN DE INCENDIOS

Ficha 5: FRECUENTACIÓN ANTRÓPICA

Ficha 6: ESCORRENTÍA Y GESTIÓN DE AGUAS

Ficha 7: ESTABLECIMIENTO O DISPERSIÓN DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS

Ficha 8: OTRAS ESPECIES CONFLICTIVAS EN LOS MÁRGENES

Ficha 9: EVITAR LA ATRACCIÓN HACIA LAS VÍAS

En general, las medidas preventivas (no instalar iluminación artificial, retirarla de allí donde no esté justificada su utilización, disminuir su intensidad y acortar o interrumpir su tiempo de funcionamiento a partir de determinadas horas o en determinadas épocas) tienen un mayor efecto positivo que cualquier otra medida potencialmente mitigadora.

Planificación

- Para la selección del trazado se analizará y tendrá en cuenta la previsible contaminación lumínica respecto de la distribución de las áreas ambientalmente sensibles (véase apartado 4.1). También se tendrán en cuenta las áreas prioritarias para la desfragmentación (véase Documento 6 de prescripciones técnicas, MAGRAMA 2013, entre otros).
- Además, dada la importancia de los enlaces y cruces en los criterios utilizados para dotar a las vías de iluminación artificial, se procurará que estos estén fuera de áreas ambientalmente sensibles (Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre y Orden Circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles, tomo 1).

Proyecto y construcción

- Según la Orden Circular 36/2015, los criterios que deben tenerse en cuenta a la hora de tomar la decisión sobre la procedencia de iluminar un tramo de carretera son:
 - *Autovías y autopistas:*
Estará justificado iluminarlas cuando discurren por suelo urbano (ambas márgenes) y concurra alguna de las siguientes circunstancias:

- La intensidad media de vehículos sea igual o superior a 80.000 vehículos/día. ($IMD \geq 80.000$ vehículos/día).

- La $IMD \geq 60.000$ vehículos/día y se produzcan más de 120 días de lluvia al año.

- *Carreteras convencionales:*

No se iluminarán en general, aunque podrá justificarse su iluminación en caso de que el tramo sea un tramo de concentración de accidentes (TCA) y en los dos últimos años más del 50 % de los accidentes se hayan producido en periodo nocturno.

- *Puntos singulares:*

Estará justificada la iluminación de los puntos singulares en los siguientes casos:

- Glorietas situadas en carreteras convencionales, en las que por tener una importante intensidad de tráfico o por su peligrosidad no sea suficiente con una correcta señalización y balizamiento de la misma.

- Enlaces situados en zonas interurbanas en los que la $IMD \geq 80.000$ vehículos/día.

- Enlaces situados en zonas interurbanas en los que la $IMD \geq 60.000$ vehículos/día y se produzcan más de 120 días de lluvia al año.

- Cruces con glorietas e intersecciones a nivel, siempre que la $IMD \geq 10.000$ vehículos/día, o bien sea un TCA con un porcentaje de accidentes nocturnos superior al 50 % del total de accidentes durante los dos últimos años.

- En estos casos, el tipo de iluminación de las vías de transporte se ajustará en lo posible a los supuestos de zonificación indicados en el Real Decreto 1890/2008, resumidos en la Tabla 4.1, así como a la Instrucción Técnica Complementaria del Ministerio de Industria, Energía y Turismo sobre niveles de iluminación y las recomendaciones a nivel autonómico existentes (por ejemplo, el Decálogo Ambiental de la Luz en Cataluña).
- Se recomienda de manera genérica prescindir de iluminación artificial a menos que concurra alguno de los supuestos arriba mencionados, normalmente establecidos por criterios de seguridad vial. En todos los casos resulta preferible incrementar la dotación de elementos pasivos de iluminación (señalización reflectante, balizas, captafaros, hitos, ojos de gato) o su intensidad como alternativa a la iluminación. Donde no sea posible prescindir de la iluminación, se atenderán las medidas oportunas para minimizar su impacto sobre el entorno:
 - Iluminar únicamente la superficie que se pretende dotar de alumbrado, siguiendo los criterios de *utilancia* o *factor de utilización mantenido* correspondientes (IAC 2018), que aseguren la reducción del resplandor luminoso nocturno y el derrame de luz fuera de las vías. Los puntos de luz nunca deberán ser de tipo globo.
 - La relación entre luminancia e iluminancia (L/E) debe contemplarse en la valoración de las prestaciones de las diferentes soluciones luminotécnicas, de forma que el flujo luminoso emitido al cielo sea mínimo.
- En lo posible se utilizarán dispositivos que permitan regular el nivel luminoso, así como establecer interrupciones al mismo (diarias o estacionales en función de las necesidades).
- Se cuidará la posición, el apuntamiento y la orientación de los aparatos de alumbrado, impidiendo, siempre que sea posible, la visión directa de las fuentes de luz. Se dirigirá la luz preferentemente en sentido descendente y no ascendente, utilizando, en su caso, sistemas ópticos adecuados, deflectores y pantallas para evitar la dispersión del haz luminoso con la finalidad de paliar en lo posible la luz intrusiva.
- En el caso de usar proyectores, se recomienda usar proyectores asimétricos, pues suponen un aumento del nivel luminotécnico y de uniformidad con respecto a los simétricos. Alternativamente, se colocarán viseras en los proyectores simétricos que eviten la emisión de luz sobre el horizonte y el deslumbramiento y minimicen el flujo de luz que se pierde al no ir dirigido hacia la zona a iluminar.
- Se utilizará en lo posible un régimen nocturno reducido (normalmente entre las 23:00 y las 5:00 h; Orden Circular 36/2015).
- Se utilizarán lámparas que minimicen la zona espectral dañina para los seres vivos. Si estas no se conocen, se evitará, como norma general, la emisión por debajo de los 500 nm. En áreas ambientalmente sensibles, la emisión por debajo de ese umbral deberá ser del 1 % como máximo.

- A este respecto, la Oficina Técnica para la protección de la calidad del cielo del Instituto Astrofísico de Canarias ofrece en su página web ejemplos de estas prescripciones (Figura 4.1.2) y publica diferentes guías técnicas para la iluminación exterior, incluyendo una lista con las especificaciones técnicas de luminarias, lámparas y proyectores certificadas por este Instituto (<http://www.iac.es/servicios.php?op1=28&op2=69>).

Explotación y conservación

- Establecer protocolos de seguimiento que incorporen la detección y corrección de puntos conflictivos.
 - El seguimiento ambiental contemplará posibles afecciones, especialmente en las zonas E0 y E1 (entornos o paisajes oscuros; Figura 4.1.1). Se prestará especial atención a posibles episodios de mortandad, atracción masiva, alteración de las interacciones entre especies o los ecosistemas, o cualquier otro episodio directamente causado por el alumbrado. Los estudios pioneros en este tema utilizan la biomasa de fauna invertebrada como grupo bioindicador. Cualquier otro grupo faunístico o florístico deberá ser incluido en el sistema de bioindicadores si se detectasen problemas relevantes que estando relacionados con el alumbrado exterior les afectase especialmente. Se registrarán las especies afectadas (o grupos de especies si estas no pueden identificarse) para aplicar soluciones correctivas, prestando especial atención a la aparición de especies catalogadas.

El seguimiento ambiental incluirá la identificación y localización de fuentes de iluminación que no cuenten con el diseño adecuado, estén mal colocadas o tengan luminarias inapropiadas (por intensidad, espectro, etc.), así como aquellas que por su escasa utilidad o alto impacto deban ser retiradas.

- En función de la fauna y flora afectada y su fenología (ritmos estacionales), se fijarán medidas temporales para evitar el impacto de la iluminación artificial en periodos críticos como el periodo de emancipación de pollos de pardela cenicienta (Rodríguez y Rodríguez 2009) o la migración. Si bien estas medidas están dirigidas a especies concretas, en momentos críticos de su biología deberá evaluarse su impacto sobre la seguridad vial. En caso de no verse afectada la seguridad vial se retirará la iluminación de forma definitiva.



Figura 4.1.1. Señalización informativa sobre el uso prioritario de la luz corta en las Inmediaciones del Observatorio Astronómico del Montsec. Foto: DGQACC. Generalitat de Catalunya.

Tabla 4.1. Clasificación de zonas de protección contra la contaminación lumínica y criterios para dotar a las infraestructuras de iluminación artificial (Instrucciones Técnicas Complementarias del Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre). Se añade la fila correspondiente a espacios E0 a partir de la información existente en la CIE 150:2017. Dichos espacios deberán siempre estar rodeados de espacios E1.

	Flujo hemisférico superior	Iluminancia vertical	Intensidad luminosa
Zona E0. Entornos o paisajes intrínsecamente oscuros. Reservas <i>Starlight</i> de la UNESCO, Parques <i>IDA Dark Sky</i> y observatorios astronómicos de categoría internacional.	0	0	0
Zona E1. Entornos o paisajes oscuros. Parques Nacionales, espacios de interés natural y áreas de protección especial.	$\leq 1\%$ $\lambda > 440\text{nm}$	2 lux	2500cd
Zona E2. Áreas de brillo o luminosidad baja. Zonas periurbanas o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales.	$\leq 5\%$	5 lux	7500cd
Zona E3. Áreas de brillo o luminosidad media. Zonas urbanas residenciales.	$\leq 15\%$	10 lux	10000cd
Zona E4. Áreas de brillo o luminosidad alta. Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio.	$\leq 25\%$	25 lux	25000cd

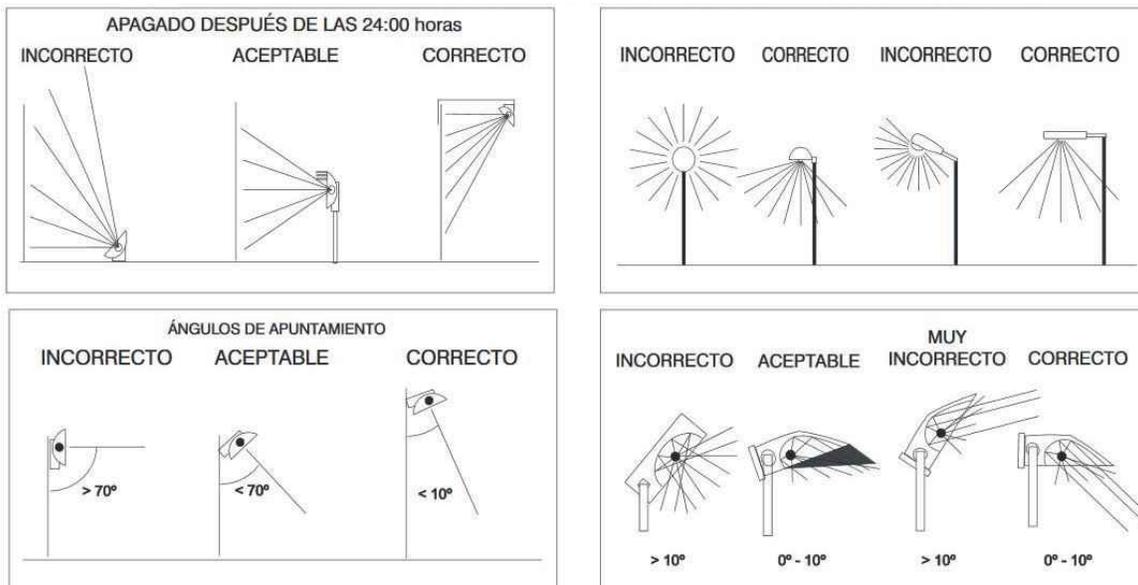


Figura 4.1.2. Normas básicas de utilización del alumbrado de la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo del Instituto de Astrofísica de Canarias, de aplicación tanto en la fase de proyecto y construcción como en la de explotación, para corregir posibles diseños incorrectos.



Figura 4.1.3. Vista general y detalle de distintas posibilidades de apantallamiento instaladas en carreteras de acceso a la ciudad de Barcelona para evitar la intrusión de la luz en las áreas próximas a las infraestructuras. Foto: DGQACC. Generalitat de Catalunya.



Figura 4.1.5. Ejemplo de iluminación de vía periurbana en el que se han utilizado luminarias tipo globo, que provocan la dispersión de la luz en todas direcciones, disminuyendo, además, su capacidad de iluminación sobre la vía. Foto: Junta de Castilla y León.



Figura 4.1.4. Vista inferior de luminaria tipo LED con luz amarillenta y flujo hemisférico superior cercano a 0. Foto: DGQACC. Generalitat de Catalunya.

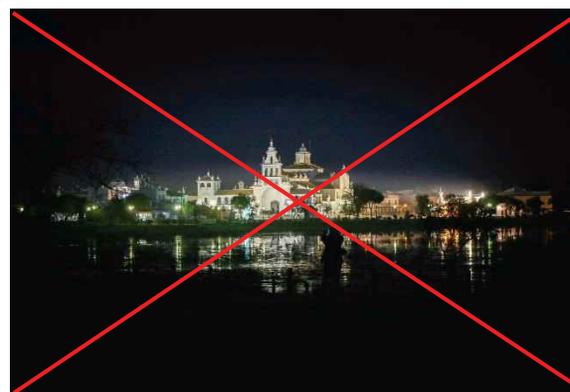


Figura 4.1.6. Contaminación lumínica en la frontera norte del Parque Nacional de Doñana, proveniente de la colindante aldea de El Rocío. Foto: Eloy Revilla.

Dada la dificultad de aislar el efecto de la contaminación acústica del resto de efectos causados por las infraestructuras, se puede considerar que aquellos lugares donde el componente biótico sea de mayor importancia, serán también más sensibles a la contaminación sonora. Estos incluirían las áreas ambientalmente sensibles (véase apartado 4.1).

Planificación

- Se identificarán las áreas ambientalmente sensibles al ruido para la selección de los trazados. Se tratará de disminuir las afecciones por contaminación acústica de la infraestructura en estas, considerando el efecto acumulado a ambos lados.
- En el trazado seleccionado se evitará, en lo posible, la ubicación de cruces o nudos de acceso y pendientes acusadas o prolongadas, donde se producen frecuentes aceleraciones, cerca de áreas ambientalmente sensibles. Asimismo, se tendrá en cuenta el impacto del viento dominante para evitar o reducir la dispersión del ruido hacia dichas áreas.
- En lo referente al ruido, los trazados convergentes con otras infraestructuras (concentración del impacto) son preferibles a otras opciones que constituyan la generación de una fuente nueva de emisión (dispersión del impacto).
- Se atenderá a lo dispuesto en los planes de ordenación de los recursos naturales y en los planes rectores de uso y gestión, o similares, de los espacios naturales protegidos, los cuales deberían determinar las afecciones de la contaminación sonora y las directrices generales de gestión y conservación del espacio en cuestión, con las indicaciones correspondientes sobre la zonificación y

las normas generales de uso público.

Proyecto y construcción

- Se identificarán las áreas a preservar del ruido.
- A la escala del proyecto constructivo también es preciso atenerse a las indicaciones de los instrumentos de planificación o normativos ambientales.
- En ausencia de límites concretos en la Ley del Ruido para los espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica, se aplicará la norma general que establece el nivel más restrictivo en 50 dB. No obstante, experiencias previas con corzos y buitres negros nidificantes sugieren la necesidad de adoptar valores más bajos (entre 30 y 40 dB) en dichos espacios (véase Iglesias 2014).
- Se utilizarán los siguientes métodos para la reducción del ruido (MAGRAMA 2013; Bendsten et al. 2017):
 - Pantallas acústicas (Reducción de 10-20dB).
 - Pantallas fonoabsorbentes donde la cara vista está constituida por hormigón poroso.
 - Pantallas ajardinables, donde es la tierra que soporta la vegetación la que a su vez absorbe tanto el sonido que le llega directamente como el reflejado por las piezas de hormigón inclinadas de las capas superiores.
 - Revestimientos fonoabsorbentes, contruidos en hormigón con aislamiento acústico poroso y fijado directamente a los elementos estructurales de la vía.

- Caballones de tierra (su capacidad depende de su tamaño). Presentan la ventaja, con respecto a otros sistemas, de que permiten aprovechar materiales sobrantes del movimiento de tierras durante la construcción.
- Pavimentos atenuantes (2 dB).
- Disminución de la velocidad máxima de la vía (1 dB con reducciones de 5-10 km/h; 2 dB con reducciones de 10-20 km/h).

Explotación y conservación

- Establecer protocolos de seguimiento que incorporen la detección y corrección de puntos conflictivos.
- El seguimiento ambiental no solo considerará el control, sino la verificación de las medidas preventivas y correctoras previstas, así como la detección de impactos no previstos y su corrección, y campañas de mediciones acústicas durante dos años a partir de la puesta en funcionamiento de la infraestructura.



Figura 4.2.1. Autovía dotada con pantallas acústicas para reducir el ruido proveniente de la infraestructura. El ajardinamiento posterior mejora su estética, aunque no añade capacidad fonoabsorbente. Foto: Gobierno Vasco.

- Si la vía ya estuviera en explotación con anterioridad, se utilizarán los mapas de ruido y los planes de acción de cada una de las comunidades autónomas o provincias para seleccionar aquellas ubicaciones que, teniendo valores elevados de ruido, crucen áreas ambientalmente sensibles y no cuenten con las medidas mitigantes arriba expuestas.
- En la implementación de los puntos anteriores también será preciso atenerse a las indicaciones de los instrumentos de planificación o normativos ambientales más recientes.



Figura 4.2.2. Obras de sustitución de un puente convencional por un viaducto para aumentar la permeabilidad de la infraestructura en las inmediaciones del Parque Nacional de Doñana. Desafortunadamente no se contempló la opción de usar pantallas fonoabsorbentes como medida coadyuvante. Foto: Jacinto Román.

Planificación

- Se identificarán las áreas ambientalmente sensibles (véase apartado 4.1), con especial atención a las zonas húmedas, para disminuir futuras afecciones por emisión de contaminantes desde la infraestructura. En dichas áreas se evitará en lo posible la ubicación de cruces o nudos de acceso, pendientes acusadas o prolongadas y se tendrá en cuenta el impacto del viento dominante para evitar la dispersión de gases hacia estas zonas sensibles.
- El diseño de los trazados en zonas de montaña se realizará de manera que se minimice el efecto que puedan tener la nieve y el hielo en invierno (por ejemplo, priorizando los tramos en solana), con el fin de reducir al máximo la necesidad de utilizar fundentes. Se tendrá en cuenta el riesgo de incendio de la zona para valorar la medida en relación con dicho riesgo (véase ficha 4).

Proyecto y construcción

- Con carácter general algunas medidas a implantar para reducir el impacto de la actividad constructiva en la calidad del aire son:
 - Compactar todas las superficies de viales de servicio y mantenerlas en buen estado.
 - Limitar la velocidad dentro del área de la obra a 20 km/h.
 - Instalar sistemas de limpieza de vehículos, especialmente las ruedas, para evitar el transporte de materiales adheridos.

Con respecto a los diferentes tipos de contaminantes:

- *Aerosoles:*

- La calidad del aire cerca de un vial está regida por dos mecanismos físicos: la dispersión y la deposición de los contaminantes, estando la deposición asociada a la presencia de vegetación. Siempre que sea posible, el diseño de la vía contemplará la reducción de la velocidad máxima como medida para disminuir la emisión de contaminantes, especialmente en áreas ambientalmente sensibles. Allí donde la distancia entre la calzada y el vallado perimetral lo permita, se recomienda que las revegetaciones en la parte más externa de esta área vayan dirigidas a establecer una barrera vegetal arbolada ancha con alta densidad foliar. Este modelo reduce significativamente la dispersión de contaminantes hacia el entorno e incrementa la deposición de los mismos (Tong et al. 2016, véase Gheorghe et al. 2011). No obstante, es importante señalar que deberá cumplir con la normativa de seguridad vial, así como las recomendaciones para evitar la proliferación de incendios y atropellos (véanse capítulos 3.4 y 3.9).
- Es necesario revisar periódicamente los motores de combustión y los tubos de escape de la maquinaria y vehículos de transporte.

- *Polvo:*

- Se usarán lonas para cubrir el material durante su transporte y así evitar que este sea arrastrado por el viento.

- Se regará el sustrato por el que se desplacen los vehículos empleados en la fase de construcción para limitar la cantidad de partículas que se movilizan. El agua utilizada deberá estar limpia de contaminantes, patógenos o especies exóticas invasoras.
 - Se cubrirán los elementos de la obra susceptibles de producir polvo (cintas transportadoras, elevadores de material, tamices, clasificadores, etc.).
- *Líquidos:*
 - Durante la construcción de los drenajes se planteará su vertido en zonas donde no produzcan impacto sobre la fauna, flora o los acuíferos, nunca sobre aguas corrientes o retenidas, o se verterán sobre estructuras de acumulación que permitan su tratamiento (véase ficha 6).
 - En las zonas donde la aplicación de fundentes sea elevada y especialmente si se trata de áreas ambientalmente sensibles (véase punto 4.1), estas estructuras de acumulación de líquidos estarán también destinadas a limitar la dispersión de los fundentes en el entorno (canales y balsas de retención, trampas de arena, filtros físicos, filtros vegetales, etc.; Fay y Shi 2012). El adecuado mantenimiento de estas estructuras contemplará los tratamientos correspondientes (coagulación, floculación, filtración, etc.), así como la retirada de lodos para su traslado a vertederos autorizados de acuerdo a la normativa vigente.
 - Se estudiará la posibilidad de utilizar geotermia (Balbay y Esen 2010) para evitar la formación de placas de hielo
- allí donde este fenómeno se dé con frecuencia.
- En áreas ambientalmente sensibles, al menos, también puede considerarse el empleo de pavimentos (polímeros minerales, nanocompuestos fotocatalíticos o mezclas bituminosas específicas) que absorben algunos contaminantes como los óxidos nitrosos (p. ej. Ballari y Brouwers 2013).
- ### Explotación y conservación
- *Aerosoles:*
 - De forma general, limitar la velocidad de la vía disminuye la emisión de contaminantes, lo que puede ser útil en puntos conflictivos o áreas ambientalmente sensibles. Del mismo modo, el correcto mantenimiento de la vía y, especialmente, de la capa de rodadura, contribuye a no aumentar la emisión de contaminantes (Condurat et al. 2017).
 - *Líquidos:*
 - La aplicación de medidas preventivas (agentes que impiden o limitan la formación de placas de hielo) es más eficaz que las medidas reactivas (agentes fundentes) para limitar la concentración de estas sustancias arrastradas por escorrentía (Fay y Shi 2012). Su combinación con medidas estructurales instaladas en la infraestructura (canales y balsas de retención, trampas de arena, filtros, filtros vegetales; véase proyecto y construcción) reduce significativamente la llegada por escorrentía de contaminantes al medio.

Se requiere que dichas estructuras sean revisadas periódicamente para evitar que se colmaten y se retiren los contaminantes siguiendo los procedimientos que marque la normativa vigente. En zonas con elevado riesgo de nevadas se señalará la recomendación de uso de neumáticos de invierno.

- Se optimizará en lo posible la cantidad de fundente que se disperse en el medio, incorporando en los vehículos encargados de distribuir el fundente sensores que permitan conocer la cantidad de sal ya existente en la carretera. Aunque existen otras sales (acetato de calcio-magnesio, cloruro de magnesio), salmueras, combinaciones de estas con partículas sólidas (arena, cenizas), aditivos procedentes de desechos de la industria agroalimentaria y varias alternativas experimentales, algunas de ellas también han demostrado tener efectos perjudiciales sobre el medio (Schuler et al. 2017), por lo que deberá estudiarse detenidamente su utilización como alternativa a la sal común.



Figura 4.3.1. Cuneta desbrozada mecánicamente y limpia de residuos. Foto: Eloy Revilla.

- De manera genérica no se utilizarán biocidas de ningún tipo (herbicidas, insecticidas, rodenticidas) en los márgenes de las infraestructuras, bajo el amparo de la Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, sobre el uso sostenible de productos fitosanitarios. Para el control de la vegetación de los márgenes se emplearán otras técnicas como el desbroce mecánico, el pastoreo (véanse ejemplos en Países Bajos y EE. UU.; Hart 2001; Valladares et al. 2011), el vinagre (Reglamento de Ejecución UE 2019/149) o el vapor de agua, más adecuados para la gestión de la vegetación en los márgenes. No obstante, se tendrá en cuenta la presencia de especies invasoras y especies plaga, cuyos protocolos de control pueden considerar limitaciones adicionales o exenciones al uso de algunos de estos productos.



Figura 4.3.2. Cuneta desbrozada mediante la aplicación de herbicidas y con múltiples residuos. Foto: Eloy Revilla.

En esta ficha se considera particularmente importante revisar el apartado 4.1 como recordatorio de compatibilidad con el documento 1 de prescripciones técnicas (MAGRAMA 2015) en lo relativo a cunetas y revegetaciones.

Planificación

- Se evitará en lo posible seleccionar trazados por áreas con elevado riesgo de incendio, con pendientes elevadas y a través de masas forestales continuas.
- En caso de ser necesaria la construcción de dichas vías, se identificarán y ejecutarán las actuaciones necesarias para reducir el riesgo de incendio y vulnerabilidad de los usuarios, considerando criterios que eviten o reduzcan la fragmentación de los hábitats por los que discurren.

Proyecto y construcción

- Se planificará la construcción de puntos de abastecimiento de agua allí donde sea viable (evacuación de cunetas y drenajes, que permita su acumulación), posibilitando el acceso de camiones autobomba y medios aéreos (ausencia de tendidos eléctricos, postes y otras infraestructuras).
- Se tendrá en cuenta la combustibilidad e inflamabilidad de la vegetación existente y la continuidad y superficie de las masas forestales de su entorno para adaptar la intensidad y las características de las medidas preventivas y correctoras a aplicar en función del riesgo de incendio asociado a la vía, utilizando también la información disponible sobre riesgo meteorológico y recurrencia (Figura 3.6).

- Medidas a adoptar en las zonas de mayor riesgo y aquellas que atraviesen grandes masas forestales (modificados de Mestres y Miranda 1997):
 - Se habilitarán accesos directos, cerrados al público en general, pero que permitan a los medios de extinción de incendios usar estas vías preferentes para llegar de forma inmediata al fuego. Dichos accesos no deberán afectar a los pasos de fauna.
 - Cuando se construyan vías de acceso a determinados lugares de alto valor natural y elevada presión antrópica, se contemplará la posibilidad de que puedan ser cerrados al público en función del riesgo de incendio.
 - En los márgenes y taludes, se facilitará la accesibilidad para la extensión de las mangueras en caso de incendio, así como el acceso de maquinaria para el tratamiento preventivo de los mismos.
 - En las zonas de riesgo extremo, los márgenes serán de cemento u otros modelos que impidan el crecimiento de la vegetación que pueda actuar como foco o facilite la propagación del incendio.
- La identificación de los pasos de fauna más apropiados atenderá también al riesgo de incendio de la zona. Tanto la construcción o instalación de los mismos como su revegetación tendrán muy en cuenta el riesgo de incendio a la hora de elegir los materiales y la composición y estructura de la vegetación que se va a utilizar. Por ejemplo, en estructuras de paso superior y, especialmente en ecoductos, será particularmente importante el uso de materiales ignífugos como rocas, paredes secas, pantallas de hormigón, encachados, etc.

La creación de espacios abiertos en la parte central del ecoducto (véase MAGRAMA 2015) también puede actuar a modo de cortafuegos, lo que requiere un correcto diseño y mantenimiento. Será muy relevante la correcta selección de aquellas opciones con menor riesgo de incendio (pantallas inertes, rocas a la entrada del ecoducto para impedir la entrada de tráfico rodado, etc.).

- Las vertientes de los drenajes longitudinales podrán utilizarse para alimentar zonas de abrevadero situadas en las proximidades del paso de fauna (MAGRAMA 2015) o para el riego de especies vegetales de baja inflamabilidad.
- Las áreas de descanso y otros puntos concretos de la ruta que concentren las paradas de los usuarios (véase ficha 5) deberán situarse en los lugares de menor riesgo de incendio, delimitadas con vallas perimetrales de materiales integrados en el medio y aplicando los tratamientos de mantenimiento pertinentes a su franja perimetral externa más inmediata para que actúe como área cortafuegos. En caso de utilizar madera como material para la construcción de elementos o edificaciones adyacentes a las vías, esta deberá estar ignífuga.
- Se señalarán convenientemente los tramos de las vías que discurran por zonas de elevado riesgo de incendio
- Diseño de las revegetaciones:
 - En el marco de las actuaciones de restauración ecológica y en caso de prever una revegetación, se utilizarán plantas autóctonas de baja inflamabilidad (Elvira y Hernando 1989), evitando las de alto contenido en compuestos orgánicos volátiles altamente inflamables y que

produzcan restos finos que tardan tiempo en descomponerse (como las coníferas), priorizando las que dificulten el inicio y la propagación del fuego. Se seleccionarán especies que mantienen las hojas verdes y un alto contenido hídrico en los tejidos durante el verano, que generen baja carga aérea de partes muertas, así como plantas de estructura compacta, con un porcentaje bajo de aire con respecto al de material combustible (menor relación superficie/volumen), y las que produzcan pocos restos finos y cuyas hojas y restos se descompongan con rapidez. Se seleccionarán también las especies de madera densa y alta capacidad calórica, que necesitan absorber una mayor cantidad de calor antes de quemarse. Se evitará en lo posible el uso de plantas anuales que al secarse constituyan una fuente fácil de ignición.

- La estructura de la vegetación de los márgenes (proporción de especies de estratos: herbáceo, arbustivo o arbóreo) deberá adecuarse al riesgo de incendio de la zona, priorizando aquellas combinaciones que resulten en un menor riesgo de incendio o faciliten la acción cortafuegos de la infraestructura. Si se desea que los márgenes actúen como infraestructura activa (zona segura para la actuación de los medios de extinción), se deberá tender a estructuras abiertas o, en su caso, formadas por especies de baja talla y poco inflamables. Generalmente estas estructuras necesitarán un mantenimiento más intensivo.
- En el estrato herbáceo debe reducirse lo máximo posible la presencia de gramíneas anuales y deben potenciarse las plantas nativas cuya

estructura y características ecológicas determinan una menor inflamabilidad. Es el caso de las crasuláceas, de las urticáceas, plantagináceas, quenopodiáceas y algunas papilionáceas. En particular, las crasuláceas suelen ser resistentes a la sequía y poco exigentes en cuanto a nutrientes. En definitiva, y en la medida de lo posible, se debe evitar la aparición de herbáceas que se agosten durante las épocas de máximo peligro de incendio.

- Se fomentará la continuidad con los hábitats del entorno, utilizando exclusivamente especies autóctonas, de la misma región, típicas de los hábitats del entorno y que cumplan las características de baja inflamabilidad anteriormente indicadas. Deberán evitarse especies inflamables que contribuyan a propagar los incendios (como las coníferas). Allí donde estas especies sean parte genuina y característica del ecosistema se contemplarán medidas adicionales como los desbroces, el pastoreo y la reducción de la estructura tanto horizontal como vertical de la masa.
- Dotación de infraestructuras para la extinción de incendios:
 - Se dotará o facilitará la dotación de elementos para la extinción de incendios, tales como sistemas automáticos de detección y alarma y para la señalización del riesgo de incendio forestal.
- Coordinación entre administraciones:
 - Las infraestructuras de transporte forman parte de la red de prevención y extinción de incendios dado su doble papel como cortafuegos y como vías de acceso. Por ello, resulta

particularmente trascendente la coordinación entre las administraciones y departamentos de estas para la participación en la creación de puntos de agua para la extinción de incendios a partir de los drenajes de la vía, o la creación de puntos de vigilancia, si la localización de la vía ofreciera lugares prominentes adecuados a tal fin.

Explotación y conservación

- Es necesario establecer protocolos específicos de coordinación (protección civil, obras públicas, gestión agraria y forestal) para la gestión de los viales en caso de incendios de alta intensidad para reducir los riesgos de atrapamiento con consecuencias fatales. Dadas las proyecciones existentes sobre el aumento de intensidad de los incendios, estos protocolos deberían afectar también a grandes infraestructuras (fundamentalmente autopistas y autovías) que podrían convertirse en zonas de alto peligro en caso de colapso de la vía.
- Tratamiento de las superficies adyacentes a las calzadas (dominio público):
 - Las medidas se aplicarán en función de los mapas de riesgo de incendios, las épocas del año y de los hábitats adyacentes a la infraestructura.
 - Se debe establecer una franja de seguridad que permita a la vía detener la propagación del incendio. Esta franja de seguridad generalmente incluye la zona de dominio público y la de servidumbre. Deberá mantenerse libre de material inflamable, principalmente en los estratos herbáceo y arbustivo, durante las épocas del año de peligro

medio y alto de incendio definidos por las correspondientes comunidades autónomas.

- Cuando sea necesario, se ajustará la densidad de la vegetación de los márgenes al riesgo de incendio de la zona con el objetivo de alcanzar los modelos estructurales que pueden dificultar el inicio de un incendio forestal, creando así un área cortafuegos. Los tratamientos de extracción de combustible forestal deberán ser selectivos, eliminando pies secos o con gran proporción de biomasa muerta, las plantas que aportan menos nutrientes y aquellas que menos contribuyen a evitar la erosión del suelo, así como las especies más inflamables. Deberán respetarse las que, de manera natural, mantienen un mayor contenido hídrico durante la época seca y aquellos pies pertenecientes a especies catalogadas o que sean considerados como singulares. En ecosistemas de frondosas, favorecer una buena cobertura arbolada permite el sombreado del sotobosque, evitando el crecimiento de matorral y la vegetación herbácea, más favorable al inicio y propagación del incendio. Estas medidas nunca podrán comprometer la seguridad vial.
- En zonas de alta precipitación estival, donde las herbáceas de las cunetas mantengan una elevada humedad, no se recomienda su desbroce porque esto aumenta su inflamabilidad al retirar la parte más húmeda y favorecer el secado del resto. A ello se añade el propio riesgo de incendio de algunos métodos de desbroce.
- La anchura del área cortafuegos dependerá de las características de la vegetación preexistente. En los árboles se podarán las ramas secas.

Todos los residuos de tala se extraerán, enterrarán o triturarán.

- Debe preverse también el mantenimiento de estas áreas cortafuegos. El pastoreo controlado mediante vallados temporales en los márgenes que garanticen la seguridad vial constituye un método generalmente poco intrusivo, generador de valores naturales y con importante repercusión social sobre el territorio, que no genera restos vegetales que pueden servir como punto de ignición, que no produce chispas y resulta muy efectivo para el control de la biomasa vegetal del sotobosque. No obstante, se atenderá a las medidas necesarias para que el ganado no constituya fuente de dispersión de especies exóticas invasoras (véase ficha 7).
- En casos de riesgo extremo y allí donde otros métodos no sean aplicables, la autoridad competente podrá autorizar quemas prescritas para el control de herbáceas y combustible muerto, que serán llevadas a cabo por personal especializado.
- Deberán mantenerse en correcto funcionamiento los sistemas automáticos de detección y alarma, así como las señales y paneles de aviso del riesgo de incendio forestal, especialmente en los lugares de parada habitual, áreas de servicio, etc., donde dicha señalización deberá ser permanente.
- Se prestará especial atención a los cambios en la vegetación que puedan derivar en el aumento del riesgo de incendio en la zona, especialmente en las vías que pasan por masas forestales importantes y que puedan necesitar medidas antincendios adicionales.

- En caso de ejecución de quemas prescritas para mantenimiento de infraestructuras cercanas a viales, se incluirán los avisos correspondientes en la señalización de las vías que aclaren que dichas quemas no constituyen incendios, evitando así colapsos en la centralita del servicio de emergencias.
- Establecer protocolos de difusión de las experiencias obtenidas en el mantenimiento y eficacia de estas medidas ayudaría a planificar adecuadamente la periodicidad de los tratamientos de mantenimiento o las zonas de mayor sensibilidad donde sea prioritario un mantenimiento más intensivo.



Figura 4.4.1. Tratamiento de márgenes mediante siega y arado para evitar el inicio de incendios forestales en el margen de la carretera. Foto: Jacinto Román.



Figura 4.4.2. Márgenes ocupadas por gramíneas sin desbrozar que pueden ayudar en el inicio y propagación de un potencial incendio. Foto: Jacinto Román.

Planificación

- Para la selección del trazado se tendrá en cuenta la previsible perturbación antrópica respecto de la distribución de áreas ambientalmente sensibles (véase apartado 4.1), su zonificación e indicaciones de la planificación correspondiente.

Proyecto y construcción

- En lo posible, los lugares de mayor frecuentación antrópica de las vías (vías de servicio, de descanso, parques de vialidad invernal, centros de conservación y explotación, etc.) deberán ubicarse fuera de áreas ambientalmente sensibles.
- Las zonas que durante la construcción impliquen una mayor frecuentación antrópica (parques de maquinaria, almacenes de materiales y áreas de acopio, zonas de descanso, zonas de préstamo o cualquier otra infraestructura auxiliar, permanente o temporal) deberán situarse en zonas de escaso valor natural y lejos de pasos de fauna.
- El diseño de los contenedores de residuos sólidos de las áreas de servicio y zonas de descanso deberá adecuarse a la fauna existente en el entorno (zorros, jabalíes, osos, etc.) de tal manera que impida el aprovechamiento de ese potencial recurso por parte de estas especies (ubicación en altura, protección metálica, etc.).
- En las áreas de servicio y de descanso se instalarán las señales correspondientes a las acciones no permitidas en el área. Por ejemplo: vertido de residuos, utilización del fuego, daños a la fauna y flora del entorno, etc.

Explotación y conservación

- Durante la fase de explotación deberá hacerse especial hincapié en la recogida y gestión de basuras en las zonas empleadas por los usuarios de la vía, evitando su acumulación, especialmente allí donde pueda dar lugar a su uso por parte de la fauna.
- En las vías nuevas, pero sobre todo en aquellas ya en explotación, deberán identificarse las zonas que suponen mayor presión antrópica (miradores, aparcamientos, áreas de descanso, etc.). Si ocupan o afectan a áreas ambientalmente sensibles deberán ser reubicadas y restauradas con el objeto de minimizar este impacto. En caso de ser afecciones temporales (por ejemplo, durante la época de reproducción), se deberá considerar el cierre temporal del área.
- Se establecerán protocolos de seguimiento que permitan la detección de estos puntos conflictivos, jerarquización en función de su impacto y posterior reubicación en lugares menos sensibles. Dicho traslado deberá acompañarse con el cierre de los accesos desde la vía a estos puntos conflictivos y su restauración siguiendo criterios de bajo impacto sobre las zonas circundantes, como por ejemplo limitar el uso de maquinaria pesada, evitar los trabajos en épocas de reproducción de la fauna sensible, revegetar con especies locales, recoger los residuos generados durante la restauración, etc.



Figura 4.5.1. Estacionamiento en el Parque Natural de Ponga como modo de gestión de la frecuentación antrópica en uno de los puntos de acceso al parque. Se utilizaron materiales acordes con el entorno y se recolectaron semillas de especies locales para la revegetación. Foto: Principado de Asturias.



Figura 4.5.2. Estacionamiento no regulado en el pirineo oscense con la consiguiente dispersión de la frecuentación antrópica y posibles efectos sobre la fauna y la flora del entorno. Foto: Eloy Revilla.

Planificación

- En general, el trazado seleccionado procurará reducir al máximo posible la intercepción, concentración y desviación de la escorrentía producida por la construcción de la infraestructura, distribuyendo la escorrentía evacuada espacial y temporalmente para aumentar la infiltración y evitar procesos erosivos.

Proyecto y construcción

- El vertido de los caudales de la vía no puede hacerse directamente en zonas acuáticas ambientalmente sensibles, por lo que estos deberán ser reconducidos. En medios terrestres, los vertidos se efectuarán donde exista una buena cubierta vegetal que impida la erosión del terreno. La revegetación de los canales de vertido contribuye a disminuir la velocidad del caudal minimizando su capacidad erosiva. Alternativamente, se implantarán dispositivos especiales de tratamiento (balsas de decantación o retención temporal, tanques de tormenta, diques de tierra o gaviones, filtros y sistemas de infiltración) que permitan amortiguar los picos de avenidas, evitando así posibles roturas o colmataciones rápidas, así como la degradación del hábitat circundante.
- En la medida de lo posible, se integrarán estas medidas con otras planteadas en este documento como el desvío de cauces de drenaje para regar pantallas vegetales, su almacenamiento para uso posterior por vehículos de extinción o la generación de abrevaderos en las proximidades de pasos de fauna. Se evitará dirigir los desagües hacia laderas sin protección frente a la erosión hídrica (Martin-Duque et al. 2011).

- En todos los casos, las estructuras asociadas a la escorrentía deberán ser compatibles con las indicaciones del documento 1 de prescripciones técnicas (MAGRAMA 2015). Por ejemplo, no deberán constituir trampas o barreras al movimiento de la fauna, debiendo incluir rampas de escape que permitan salir a la fauna que caiga en su interior.

Explotación y conservación

- En todas las vías deberá verificarse periódicamente el estado estructural y funcional de los elementos que la configuran, tanto longitudinales como transversales, verificando que sean de uso exclusivo de la vía, no presenten discontinuidades y estén correctamente dimensionados al tamaño de la vía y las condiciones climáticas imperantes. Además, deberán también incluirse las consideraciones medioambientales descritas en “proyecto y construcción” de no afección al medio circundante.
- Las vías en explotación dispondrán de protocolos de actuación actualizados ante vertidos procedentes de la infraestructura, como pueden ser los que se producen en caso de accidentes de tráfico o de averías. Dichos protocolos deberán estar ajustados para cada tipo de vertido que se pudiera producir (combustibles, aceites, detergentes, etc.).

- En las vías en explotación en las que se detectase el vertido directo en áreas ambientalmente sensibles, se debe estudiar la conducción de los caudales a zonas menos sensibles, o la implantación de dispositivos especiales que permitan la retención de las aguas de escorrentía o de vertidos accidentales para poder así acometer su tratamiento o retirada según convenga.
- Se comprobará que las estructuras asociadas a la escorrentía y gestión de aguas no constituyen trampas o barreras al libre movimiento de la fauna. Si así fuera, se recomienda la instalación de las medidas correctoras necesarias, tal y como figuran en el documento 1 de prescripciones técnicas (MAGRAMA 2015).



Figura 4.6.1. Conducción de escorrentía mediante bajante y conexión a red de drenaje. Foto: Ministerio de Fomento



Figura 4.6.2. Drenaje entre dos vías sin posibilidad de escape para pequeños animales. Foto: Carlos Rodríguez.

Proyecto

- Durante el diseño de detalle del trazado, se prestará atención a la presencia de especies exóticas invasoras (EEI) y se informará de su ubicación, dadas sus importantes implicaciones en las fases posteriores de construcción y explotación (véase abajo).
- Diseño y composición de especies en las revegetaciones
 - Cuando se diseñe la revegetación de los taludes, se utilizarán especies autóctonas. Dada la existencia de catálogos y manuales clásicos para la selección de especies en las revegetaciones previos a la consideración y definición de EEI, se recomienda utilizar publicaciones posteriores a la Ley 42/2007, de 13 de diciembre y que se ajusten a la normativa vigente.
 - Si durante la fase de proyecto se hubiera detectado la presencia de EEI, se tendrá en cuenta su ubicación para diseñar el tratamiento necesario que elimine los individuos de estas especies y sus propágulos, así como los tratamientos *a posteriori*, una vez que las plantas hayan germinado o emergido. Se incluirá en los presupuestos de la obra su erradicación de la vía y sus márgenes. Dada la obligatoriedad de la eliminación de pies de EEI definidas en la ley y que afecta a todos los propietarios públicos o privados, se recomienda la lucha coordinada entre las diferentes administraciones implicadas y los particulares para la erradicación de las EEI presentes en la infraestructura y sus zonas anejas.

De otro modo, las erradicaciones puntuales que pudieran acometer individualmente cada uno de los responsables corren el riesgo de ser altamente ineficientes por la existencia de pies colindantes que actuarán como focos de infección. Esta actuación fuera del área de competencia de la vía podría plantearse como medida adicional a coordinar entre los diferentes responsables. Esta eliminación se deberá llevar a cabo por especialistas, siguiendo los protocolos existentes y contando con las debidas autorizaciones por parte de la administración ambiental competente.

- El diseño de márgenes y taludes compatible con el acceso de maquinaria facilita las labores de erradicación de especies exóticas, caso de ser necesarias. Esto es especialmente importante en aquellos de grandes dimensiones que puedan albergar poblaciones numerosas de EEI.
- Se recomienda adquirir los plantones y mezcla de semillas para las revegetaciones en viveros de planta autóctona. Estos están disponibles en todas las comunidades autónomas, como recurso propio o como iniciativa privada. Se recomiendan los siguientes criterios para la selección de especies (Valladares et al. 2011):
 - Ser especies autóctonas.
 - Con procedencia de localidades próximas.
 - Que den continuidad al paisaje circundante, especialmente en aquellos casos en los que exista un referente inmediato de cubierta vegetal silvestre.

- Dada la importancia de la composición de especies en las revegetaciones para la lucha contra los incendios forestales (ficha 4), este será un criterio adicional a considerar.
- Se determinarán las siembras y plantaciones solo durante la época más favorable, para reducir las marras que se producen en este proceso. En caso de que la demanda de plantas por parte de la infraestructura se prevea elevada, se deberá informar con antelación a la empresa proveedora para asegurar la disponibilidad de un número suficiente de plantas.
- Deben aplicarse las limitaciones impuestas por la legislación existente sobre la difusión de patógenos (a nivel comunitario, estatal y autonómico), principalmente en lo referente a *Phytophthora cinnamomi*, *Xylella fastidiosa* y *Erwinia amylovora*, y a nuevos patógenos que se considere que puedan hacer aparición.

Construcción

- Tratamiento de tierras y superficies de márgenes para evitar el establecimiento de especies exóticas invasoras:
 - El banco de semillas latente en el sustrato tiene un gran valor como recurso para la revegetación de márgenes. No obstante, la presencia de especies exóticas invasoras en dicho sustrato, o el utilizado en los préstamos, obliga a su tratamiento para evitar la implantación de estas especies en la nueva infraestructura. Este dependerá de las especies identificadas (véanse apartados subsiguientes), ya que en muchos casos el simple laboreo de la tierra

impide su consolidación. Tanto la viabilidad de muchos tratamientos como su eficacia son mayores durante esta fase de construcción, por lo temprano de la actuación y la ausencia de uso público de la infraestructura, y por ello resulta el momento más recomendable para acometerlo.

Explotación y conservación

- En caso de usar el pastoreo como instrumento para el desbroce y control de la biomasa en los márgenes de las infraestructuras (véase ficha 4), se asegurará su procedencia de lugares libres de EEI. En caso de duda, se utilizarán rebaños provenientes de estabulación de al menos tres días de duración (Frost et al. 2013) para asegurar que no dispersen semillas viables de EEI.
- Además de las medidas preventivas tomadas durante las fases de proyecto y construcción de la infraestructura, es necesario contemplar la llegada de especies exóticas invasoras a la infraestructura o su existencia previa en vías que ya estuvieran en explotación, evaluar su peligrosidad o la necesidad de respuesta temprana y en función de esos parámetros aplicar el tratamiento o tratamientos recomendados para su eliminación. Las estrategias nacionales de gestión, el Catálogo Español de EEI y las diferentes autoridades autonómicas y provinciales disponen de ejemplos de tratamientos y recomendaciones prácticas para casi todas las especies de EEI. A continuación, se ofrecen algunas recomendaciones generales para el tratamiento o erradicación de EEI:
 - En el caso del plumero de la pampa (*Cortaderia selloana*), para el que existe un plan de gestión, control y posible erradicación, se subraya la importancia de la acción temprana, ya

que la erradicación de los ejemplares adultos es costosa por su gran desarrollo tanto de la parte aérea como de la subterránea, su gran capacidad de rebrote y la dispersión de semillas durante la manipulación. En este caso y en otros muchos, actuar pronto permite la retirada manual de ejemplares jóvenes, que evitan la mecanización (no siempre posible) y el resto de dificultades asociadas al tamaño del ejemplar. En términos generales, la detección y actuación temprana son los mejores aliados para la lucha contra estas especies, ya que muchas de ellas presentan grandes dificultades de erradicación una vez han constituido poblaciones estables en el territorio. En cualquier caso, es necesario recurrir siempre a las versiones más recientes de los documentos que acompañan al Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, ya que tanto la lista de especies incluidas como las recomendaciones de gestión se actualizan en el tiempo.

- En el apéndice de este documento se incluyen algunas de las especies más comunes y sus tratamientos conocidos hasta la fecha. En el caso del senecio de El Cabo, por ejemplo, hay una experiencia previa de erradicación de esta EEI en la montaña de Portbou (Girona) y que detalla la mejor combinación de métodos mecánicos y químicos para llevarla a cabo en una extensión relativamente grande (Rojo et al. 2009).
- No obstante, la alta especificidad de los tratamientos y la continua aparición de nuevas experiencias en la erradicación de EEI (incluida la lucha biológica) impiden que este documento ofrezca información más detallada para el tratamiento de EEI.

Es importante considerar que la utilización de métodos generales puede agravar el problema en lugar de mitigarlo. Es el caso, por ejemplo, del rabogato (*Pennisetum setaceum*) o del plumero de la pampa, cuyas altísimas capacidades de dispersión se ven favorecidas por las labores de desbroce si se llevan a cabo en época de propagación de semillas.

- Normalmente, los tratamientos de erradicación no son completamente efectivos en su primera aplicación y necesitan repetirse varias veces hasta dar por terminada la invasión. Por ese motivo es importante la revisión periódica de los lugares donde se lleven a cabo tratamientos contra estas especies. También es frecuente que la combinación de métodos de erradicación (mecánico y químico, por ejemplo) supongan una mejora de la eficiencia del tratamiento, por lo que se deberá prestar especial atención a la normativa sobre el uso de agentes químicos de tratamiento (Real Decreto 1311/2012 de 14 de septiembre), así como las posibles afecciones al territorio circundante que pudieran impedir su uso (por ejemplo, en la proximidad de masas de agua).
- Deben evitarse los periodos reproductivos en los que el manejo de las plantas puede provocar la dispersión de semillas o propágulos y tener especial cuidado con las espinas o elementos urticantes que algunas de estas especies presentan y que obligan a los operarios a disponer de los correspondientes equipos de protección individual (EPI).
- Por otro lado, y aunque no suele ser el ámbito de las infraestructuras de transporte, las EEI acuáticas merecen ser mencionadas en este capítulo

(véase también apéndice de este documento), ya que suelen presentar una capacidad de dispersión mucho mayor que las terrestres y limitar su expansión es crucial para que la invasión no se torne inmanejable. Es por ello que se recomienda acometer las medidas oportunas para erradicar EEI de cualquier masa de agua que dependa de la vía (drenajes, balsas de cualquier tipo, etc.) para impedir que la EEI en cuestión pueda saltar a masas de agua naturales existentes en el entorno.

- La inclusión en los equipos de trabajo de personal con formación botánica será de gran ayuda, particularmente a la hora de detectar e identificar la presencia de especies exóticas invasoras que, como se ha visto en este apartado, es clave en las fases de proyecto, construcción y explotación de las infraestructuras.



Figura 4.7.1. Área de descanso en A-5 en la que se han aprovechado los pies existentes de especies nativas. Foto: Carlos Rodríguez.



Figura 4.7.2. Área de recreo en NA-7135 en la que se han plantado especies exóticas invasoras como el plumero de la Pampa. Foto: Gobierno de Navarra.

Tabla 7.1. Tabla resumen de las recomendaciones a tener en cuenta con respecto a las especies exóticas invasoras en las fases de proyecto, construcción y explotación de las infraestructuras.

FASE	ACTUACIÓN
Planificación y Proyecto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si se detectara o conociera la existencia de EEI en el trazado, se informará de su existencia a la autoridad competente y se tendrá en cuenta su localización para evaluar la posibilidad de que en la zona se lleven a cabo préstamos de material, así como el posterior tratamiento de la zona en las siguientes fases, si fuera necesario. 2. Asegurarse de no introducir de manera accidental EEI en la revegetación de los márgenes (Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras). 3. Usar plantas y semillas de especies autóctonas y locales. 4. Usar el entorno natural como referencia para la selección de especies de las revegetaciones. En ausencia de EEI, se podría usar el banco de semillas local presente en el sustrato.
Construcción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si se supiera (por detección durante la fase de trazado) de la presencia de EEI o se detectaran en esta fase, se procederá a la retirada manual y destrucción de toda la planta, aprovechando en lo posible la existencia de maquinaria auxiliar. 2. Se informará de su existencia a la autoridad competente y se tendrá en cuenta su localización para incluir su tratamiento en las siguientes fases, si fuera necesario.
Explotación de vías de nueva construcción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si se supiera (por detección y tratamiento previo durante la fase de construcción) de la presencia de EEI o se detectara alguna durante esta fase, se procederá a la retirada manual y destrucción de toda la planta, incluyendo este o el tratamiento que se haya venido siguiendo en fases anteriores en los protocolos de mantenimiento de la vegetación de los márgenes. 2. Se prestará especial atención a la presencia de EEI acuáticas en drenajes o balsas de cualquier tipo, se informará de su presencia a la autoridad competente y se tomarán medidas para su contención en la estructura donde se localice y su tratamiento específico tan pronto como sea posible.
Explotación de vías antiguas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si se detectara la presencia de EEI, se informará de su existencia a la autoridad competente. 2. Si la extensión o desarrollo de los individuos lo permitiera, es recomendable la retirada manual y destrucción de toda la planta, incluyendo las partes aéreas y enterradas. 3. Si la extensión o desarrollo de los individuos no permite su retirada manual, deberá elaborarse un plan de erradicación de las EEI presentes tanto en la vía como en el territorio anejo, actuando de forma coordinada con las administraciones competentes sobre el conjunto del territorio afectado como única vía eficiente de lucha contra la invasión. 4. Si se trata de una EEI acuática presente en drenajes o balsas de cualquier tipo, se informará de su presencia a la autoridad competente y se tomarán medidas para su contención en la estructura donde se localice y su tratamiento específico tan pronto como sea posible.

Esta ficha centra sus objetivos solamente en los conejos y aquellos mamíferos con hábitos cavadores cuyo uso de márgenes y taludes como hábitat de reproducción puede generar daños en las infraestructuras. Existen numerosas especies de micromamíferos con hábitos cavadores que viven en los márgenes pero que por su tamaño es más improbable que causen daños en las infraestructuras. En estos casos no es necesario realizar ningún tipo de actuación. Este es el caso de los topillos del género *Microtus*, alguna de cuyas especies está incluso catalogada, como el caso del topillo de Cabrera (*Microtus cabreræ*), que ocupa habitualmente márgenes de caminos y carreteras con vegetación herbácea alta. Es necesario prestar atención a su presencia para evitar destruir su hábitat y las poblaciones que ocupan dichos márgenes.

Proyecto y construcción

- Se identificarán los lugares potencialmente problemáticos, basándose tanto en las características de la vía (aquellos lugares donde los hábitos excavadores puedan suponer un riesgo para la infraestructura) como del entorno (principalmente en tramos que transcurran por ambientes agrícolas carentes de manchas de vegetación natural y en viales con intensidades de tráfico medias). Solo será necesario actuar en dichas zonas mediante:
 - Diseño de taludes:
 - Se recomienda evitar la entrada de escorrentía exterior hacia el talud y aumentar la rugosidad de los taludes. Se puede reducir la entrada de escorrentía exterior mediante cunetas perimetrales, convenientemente dirigidas con bajantes diseñados para disipar la energía hacia el sistema de drenaje. El aumento de la rugosidad de los taludes favorecerá la infiltración de agua y la recolección de semillas y nutrientes. Estas medidas acelerarán la revegetación del talud, dotándolo de mayor consistencia (Martín Duque et al. 2011), reduciendo así el potencial impacto de los hábitos excavadores del conejo sobre la infraestructura.
 - El diseño de márgenes y taludes, especialmente aquellos de grandes dimensiones, contemplará el acceso de maquinaria para facilitar las labores de desbroce y eliminación de madrigueras.
 - Se recomienda instalar vallados y otros sistemas que dificulten la entrada de mamíferos en el interior de las plataformas con cerramiento perimetral (MAGRAMA 2015). Siempre que sea posible, se ubicarán las vallas perimetrales lo más cerca posible de la calzada y en cualquier caso a menos de 10 m del borde del vial (Planillo y Malo 2018). Esta medida debería afectar a todos los viales con vallado perimetral de nueva construcción. Se recomiendan cerramientos de malla hexagonal de triple torsión de 3 x 3 cm de luz y una altura mínima de 60 cm sobre el terreno (superpuesta a la malla existente). Es especialmente importante enterrar parte del vallado (véase MAGRAMA 2015). Experiencias recientes demuestran que en ocasiones es necesario extender hasta 50 cm la profundidad a la que el vallado debe enterrarse para lograr los efectos deseados. Igualmente, se evitará dejar huecos en los puntos de conexión con

cunetas, bajantes, drenajes, etc.

- Tratamiento de tierras y superficies de márgenes:
 - o En los lugares identificados como potencialmente problemáticos para la infraestructura y donde no sea posible aproximar la valla a menos de 10 m, deberá reducirse en lo posible la cobertura vegetal o utilizar sustratos que impidan o limiten la excavación.

Explotación y conservación

- Modificación de las características de los taludes:
 - Se procederá al control mecánico regular de la vegetación herbácea de los márgenes durante los periodos de crecimiento vegetativo (otoño y primavera en el sur; primavera y verano en el norte), con el objeto de reducir la disponibilidad de alimento. En caso de existir ya madrigueras, se procederá a la eliminación mecánica de estas mediante el arado de las mismas y la compactación posterior del terreno.
- Capturas y translocaciones:
 - En caso de la presencia de colonias potencialmente problemáticas se procederá a la extracción manual de los conejos, mediante trampeo y posterior suelta en manchas de hábitat próximas (<5 km) pero alejadas de la infraestructura. Se tendrá en cuenta la legislación vigente en cada comunidad autónoma, que impondrá variaciones en los métodos de captura autorizados, así como el manejo posterior de los individuos capturados.
- Vallados y otros sistemas que dificulten la entrada de mamíferos en el interior de las plataformas con cerramiento perimetral (MAGRAMA 2015):
 - Se procederá a la instalación de cerramientos de malla hexagonal de triple torsión de 3 x 3 cm de luz y una altura mínima de 60 cm sobre el terreno. Es especialmente importante enterrar parte del vallado. Experiencias recientes demuestran que en ocasiones es necesario extender hasta 50 cm la profundidad a la que este debe enterrarse para lograr los efectos deseados (véase MAGRAMA 2015).
- Revisiones periódicas:
 - Una vez al año se procederá a evaluar el posible asentamiento de nuevas colonias de conejos en los márgenes, evaluando la posible afección a la infraestructura.
 - También deberá incluirse la revisión periódica (al menos una vez al año) del estado de los vallados, para la detección de problemas que afecten a su potencial pérdida de efectividad.
- Se recomienda la coordinación entre las administraciones competentes en el territorio afectado para ejecutar las acciones pertinentes de forma conjunta y así aumentar la efectividad de las medidas adoptadas.



Figura 4.8.1. Madrigueras de conejo en talud de autovía. Foto: Gobierno de Navarra.



Figura 4.8.2. Margen de carretera con vallado perimetral a más de 10 m desde la calzada en zona agrícola. Aunque es probable el asentamiento de conejos, no se prevén impactos sobre la infraestructura. Foto: Ministerio de Fomento.



Figura 4.8.3. Ejemplo de mal diseño de cerramiento en acceso de mantenimiento, que anula la efectividad del resto de medidas (malla enterrada, doble vallado) destinadas a mantener los conejos fuera del talud de la vía férrea. Foto: Carlos Rodríguez.



Figura 4.8.4. Presencia de madrigueras entre el cercado y la vía. Si bien el cerramiento está correctamente instalado alrededor del drenaje, huecos en el cerramiento (véase figura 4.8.3) habrían facilitado el acceso de los animales. Foto: Carlos Rodríguez.

Planificación

- El trazado de la infraestructura deberá evitar en lo posible la fragmentación de manchas forestales o zonas húmedas, así como cualquier otro hábitat sensible. Igualmente se procurará no interceptar rutas migratorias o de dispersión de las especies animales presentes en la zona.
- Se contemplará aumentar los sustratos de anidamiento de insectos polinizadores entre cultivos y vías de comunicación solo en aquellas que presenten poco tráfico, para evitar impactos negativos sobre esta comunidad de insectos (AEET 2019, Sánchez et al. 2014).

Proyecto y construcción

- Tal y como se detalla en la ficha 8, situar el vallado perimetral a menos de 10 m de la vía disminuye la probabilidad de asentamiento de conejos en aquellas zonas (generalmente agrícolas) donde el margen de la infraestructura constituye un recurso (sustrato permanente) del que carecen fuera de ella. En zonas donde la estabilidad de la infraestructura pueda verse comprometida y que confluyan con zonas agrícolas, el vallado perimetral se situará lo más cerca posible de la arista exterior de la explanación.
- Para evitar la atracción masiva de insectos y de quirópteros que se alimentan de ellos, se atenderá a las prescripciones detalladas en la ficha 1 respecto a la iluminación de las vías para reducir su efecto nocivo sobre la biodiversidad.
- Las señales verticales de advertencia tienen un efecto mitigador de los atropellos (D'Amico et al. 2015), aunque no evitan la atracción que la carretera

puede suponer como elemento termorregulador para los animales de sangre fría (como los reptiles). No obstante, se recomienda su uso siempre que la vía atraviese áreas ambientalmente sensibles y en puntos de alta concentración de atropellos.

Explotación y conservación

- La siega o desbroce frecuente de los márgenes de la vía contribuye a mitigar el efecto atrayente que la vegetación puede tener sobre la fauna y que este derive en un aumento de la mortalidad. Además, aumenta la visibilidad de los conductores por lo que la reacción ante situaciones de riesgo de atropello se dará a mayor distancia, contribuyendo a la reducción del riesgo. Igualmente contribuyen a la lucha contra incendios (véase ficha 4). Se tendrá en cuenta la potencial presencia de especies exóticas invasoras favorecidas por el desbroce (véase ficha 7).
- Se evaluará si el efecto atrayente de la infraestructura juega un papel importante en los atropellos y si se producen acumulaciones de estos en determinadas zonas (puntos negros). En función de ello, se plantearán soluciones a dicho efecto para los grupos faunísticos implicados.
- Se atenderá al correcto mantenimiento de todas las medidas preventivas, incluyendo vallados perimetrales, señales y mantenimiento de la vegetación de los pasos de fauna.
- Los animales atropellados en la vía y sus márgenes constituyen focos de atracción para otras especies que a su vez pueden resultar atropelladas. Su retirada debería realizarse lo antes posible, siguiendo los protocolos de recolección de datos que se estipulen y que incluirán, al menos, el

registro de la fecha, coordenadas o punto kilométrico, especie y una fotografía del animal.

- En caso de ser necesario, se realizarán labores para impedir la ocupación de los márgenes por especies que den lugar a un elevado número de atropellos, como es el caso de los conejos (véase ficha 8).
- Se atenderá al correcto mantenimiento de las luminarias (ángulo de apuntamiento, horario y tiempo de funcionamiento) y sus lámparas para detectar casos de atracción excesiva de fauna y plantear las medidas correctoras oportunas (véase ficha 1).



Figura 4.9.1. Desbroce manual de cuneta en zona forestal que limita la presencia de fauna en las inmediaciones de la calzada y aumenta su distancia de detección por parte de los conductores, disminuyendo así las probabilidades de colisión con vehículos. Foto: Comunidad de Madrid.



Figura 4.9.2. Vía con efecto fragmentador evidente sobre masa de agua, que derivará en mortandades masivas de anfibios durante la época reproductora. Foto: Jacinto Román.



Figura 4.9.3. Culebra de escalera (*Rhinechis scalaris*) usando la superficie de la carretera para termorregularse. Foto: Jacinto Román.

1

Presentación

2

Conceptos

3

Descripción
de los efectos

4

Aplicación de
medidas

5

Bibliografía

6

Apéndice

- AEET. 2019. *Medidas para la conservación de la biodiversidad de los polinizadores silvestres en la península ibérica*. Revista Ecosistemas de la Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Ascensao, F., Mata, C., Malo, J.E., Ruiz-Capillas, P., Silva, C., Silva, A.P., Santos-Reis, M. y Fernandes, C. 2015. Disentangle the causes of the road barrier effect in small mammals through genetic patterns. *PlosONE* 11: e0151500
- Arenas, J.M., Escudero, A., Mola, I. y Casado, M.A. 2017. Roadsides: an opportunity for biodiversity conservation. *Applied Vegetation Science* 20: 527-537
- Azam, C. , Kerbiriou, C. , Vernet, A. , Julien, J. , Bas, Y. , Plichard, L. , Maratrat, J. and Le Viol, I. 2015. Is part-night lighting an effective measure to limit the impacts of artificial lighting on bats? *Global Change Biology* 21: 4333-4341
- Balbay A., Esen, M. 2010. Experimental investigation of using ground source heat pump system for snow melting on pavements and bridge decks. *Scientific research and essays* 5: 3955-3966
- Ballari, M.M. y Brouwers, H.J.H. 2013. Full scale demonstration of air-purifying pavement. *Journal of Hazardous Materials* 254-255: 406-414
- Barbero, F. 2013. *Estudio de los procesos erosivos en taludes de infraestructuras lineales en la cuenca sedimentaria de Madrid. Implicaciones en la restauración*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid
- Bautista, L.M. et al. 2004. Effects of weekend traffic on the use of space by raptors. *Conservation Biology* 18: 726-732
- Bendsten, H. et al. 2017. *ON-AIR Guidance book on the integration of noise in road planning*. Conference of European Directors of Roads.
- Bertelotti, L., Salmon, M. 2005. Do Embedded roadway lights protect sea turtles? *Environmental Management* 36: 702-710
- Bignal et al. 2007. Ecological impacts of air pollution from road transport on local vegetation. *Applied Geochemistry* 22: 1265-1271
- Borda da Agua, L. Grilo, C. y Pereira, H. 2014. Modeling the impact of road mortality on barn owl (*Tyto alba*) populations using age-structured models. *Ecological modelling* 276: 29-37
- Capdevila, L., Iglesias, A., Orueta, J.F. y Zilleti, B. 2006. *Especies exóticas invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo*. O. A. Parques Nacionales. Madrid.
- CIE 150 (2017). *Guide on the limitation of the effects of obstrusive light from outdoor lighting installations*, 2nd Ed. International Comission of illumination. (Traducida al español por el Comité Español de Iluminación).
- Clavero, M., y García-Berthou, E. 2005. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 110
- Coldsnow, K.D., Relyea, R.a. 2018. Toxicity of various road-deicing salts to Asian clams (*Corbicula fluminea*). *Environmental Toxicology and Chemistry* 37: 1839-1845
- Colino-Rabanal V. J. 2011. *Contribuciones al análisis de mortalidad de vertebrados en carreteras*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.

- Comisión Europea 2016. *EU Transport in figures. Statistical Pocketbook*. Unión Europea. <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/pocketbook2016.pdf>
- Comité Español de Iluminación. 2018. *Posibles riesgos de la iluminación LED*. Conclusiones del Grupo de Trabajo.
- Condurat et al. 2017. Environmental impact of road transport traffic. A case study for County of Lasi Road Network. *Procedia Engineering* 181:123-130
- D'Amico, M., Román, J., de los Reyes, L. y Revilla, E. 2015. Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: Who, when and where. *Biological Conservation* 191: 234-242
- D'Amico, M., Periquet, S., Roman, J., y Revilla, E. 2016. Road avoidance responses determine the impact of heterogeneous road networks at a regional scale. *Journal of Applied Ecology* 53: 181-190
- Domke, K., Wandachowicz, K., Zalesinska, M. Mroczkowska, S, Skrzypczak, P. 2011. *Digital billboards and road safety*. Pp: 119-131 en: Domke, K. y Brebbia, C.A. (Eds) Light in Engineering, Architecture and the Environment. Wessex Institute of Technology.
- Elvira, L.M., Hernando, C. 1989. *Inflamabilidad y energía de las especies del sotobosque*. INIA. Ministerio de Agricultura.
- European Environmental Agency (EEA). 2012. *Road traffic's contribution to air quality in European cities*. ETC/ACM technical paper 2012/14.
- Fay, L., Shi, X. 2012. Environmental impacts of chemicals for snow and ice control: state of the knowledge. *Water Air and Soil Pollution* 223: 2751-2770
- Frost, R.A., Mosley, J.C., Roeder, B.L. 2013. REcovery and viability of sulfur cinquefoil seeds from the feces of sheeps and goats. *Rangeland Ecology and Management* 66: 51-55
- Gasso et al. 2009. Exploring species attributes and site characteristics to assess plant invasions in Spain. *Diversity and Distributions* 15: 50-58
- Gheorghe, I.F., Ion, B., 2011. *The effect of air pollutants on vegetation and the role of vegetation in reducing atmospheric pollution*. pp. 241-280 en Khallaf M. K. (Ed) The impact of air pollution on health, economy, environment and natural sources. IntechOpen.
- Grilo, C. et al. 2012. Individual spatial responses towards roads: implications for mortality risk. *Plos One* 7: e43811
- Hale et al. 2015. The ecological impact of city lighting scenarios: exploring gap crossing thresholds for urban bats. *Global Change Biology* 21: 2467-2478
- Hart, S.P. 2001. Recent perspectives in using goats for vegetation management in the USA. *Journal of Dairy Science* 54: E170-E176
- Hernández et al. 2001. *Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efectos por la construcción y conservación de superficies de rodamiento: Il pavimentos rígidos*. Publicación técnica 173. Instituto Mexicano del Transporte
- IAC 2018. *Resumen de recomendaciones para la iluminación de instalaciones exteriores o en recintos abiertos*. Oficina Técnica para la protección de la calidad del Cielo. Instituto Astrofísico de Canarias
- Ibisch P.L., et al. 2016. A global map of roadless areas and their conservation status. *Science* 354: 1423-1427.
- Iglesias, C. 2014. *Evaluación del ruido ambiental en espacios naturales protegidos. Implicaciones para su gestión*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Injaian, A.S. et al. 2018. Effects of experimental chronic traffic noise exposure on adult and nestling corticosterone levels, and nestling body condition in a free-living bird. *Hormones and Behavior* 106: 19-27

- Jerrett et al. 2007. Modeling the intraurban variability of ambient traffic pollution in Toronto, Canada. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 70: 200-212.
- Joly, M., Bertrand, P., Gbangou, R.Y., White, M-C., Dubé, J. y Lavoie, C. 2011. Paving the way for invasive species: Road type and the spread of Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). *Environmental Management* 48: 514-522
- Laiolo, P., Tella, J.L. 2005. Habitat fragmentation affects culture transmission: patterns of song matching in Dupont's lark. *Journal of Applied Ecology* 42: 1183-1193.
- Laurance, W.F. et al. 2014. A global strategy for road building. *Nature* 513: 229-232
- Longcore, T. et al. 2018. Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. *Journal of Experimental Zoology* 329: 511-521
- Martín Duque, J.F., de Alba, S. y Barbero, F. 2011. *Consideraciones geomorfológicas e hidrológicas en Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte*. En Valladares et al. (eds). Bases científicas para soluciones técnicas. Fundación Biodiversidad.
- Martínez, J. Vega-García, C. y Chuvieco, E. 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management* 90: 1241-1252
- Menz, F.C., Seip, H.M. 2004. Acid rain in Europe and the United States: an update. *Environmental Science and Policy* 7: 253-265
- Mestres, J.M., Miranda, C. 1997. *Introducción de medidas de prevención de incendios forestales en los estudios de impacto ambiental de proyectos de carreteras*. Actas del II Congreso Forestal Español.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2013. *Orientaciones para reducir los efectos de las infraestructuras de transporte en funcionamiento*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 5. O. A. Parques Nacionales.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 2013. *Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 6. O. A. Parques Nacionales.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2015. *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 1. O. A. Parques Nacionales.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2010. *Prescripciones técnicas para la reducción de la fragmentación de hábitats en las fases de planificación y trazado*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 3. O. A. Parques Nacionales.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2010. *Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de transporte*. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 4. O. A. Parques Nacionales.
- Modugno, S., Serra, P., y Badia, A. (2008). *Dinámica del riesgo de ignición en un área de interfase urbano-forestal*. Pp, 650-659 En L. Hernández, J. M. Parreño (Eds). Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial.
- Planillo, A. y Malo, J. 2018. Infrastructure features outperform environmental variables explaining rabbit abundance around motorways. *Ecology and Evolution* 8:942-952.
- Rodríguez, A. y Rodríguez, B. 2009. Attraction of petrels to artificial lights in the Canary Islands: effects of the moon phase and age class. *Ibis* 151: 299-310.

- Rodríguez-Prieto, I., Fernández-Juricic, E. 2005. Effects of direct human disturbance on the endemic Iberian frog *Rana iberica* at individual and population levels. *Biological Conservation* 123: 1-9.
- Rojo, M. et al. 2009. *Control del senecio del cabo (Senecio inaequidens Dc.) en la Montaña de Portbou (CUP 72/Elenco 1007) en el Alt Empordà (Girona). Estimación de costes.* Actas del V Congreso Forestal Español.
- Sánchez, J.A. et al. 2014. Edges of natural vegetation to increase the diversity of wild bees in agricultural field margins. *Landscape Management for Functional Biodiversity IOBC-WPRS Bulletin* 100: 117-121
- Schuler et al. 2017. How common road salts and organic additives alter freshwater food webs: in search of safer alternatives. *Journal of Applied Ecology* 54: 1353-1361
- Smithers, R., Harris, R. & Hitchcock, G. 2016. *The ecological effects of air pollution from road transport: an updated review.* Natural England commissioned report NECR199
- Spoelstra et al. 2015. Experimental illumination of natural habitat—an experimental set-up to assess the direct and indirect ecological consequences of artificial light of different spectral composition. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 20140129
- Spoelstra et al. 2017. Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proc. Biol. Sci.* 284 (1855)
- Stone et al. 2009. Street lighting disturbs commuting bats. *Current Biology* 19: 1123-1127
- Tong et al. 2016. Roadside vegetation barrier designs to mitigate near-road air pollution impacts. *Science of the Total Environment* 541: 920-927
- Valladares, F., Balaguer, L., Mola, I., Escudero, A. y Alfaya, V. (eds.) 2011. *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas.* Fundación Biodiversidad.
- van Grunsven et al. 2017. Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle. *Amphibia-Reptilia*: 38: 49-55
- Wembridge, D.E. et al. 2016. An estimate of the annual number of hedgehog (*Erinaceus europaeus*) road casualties in Great Britain. *Mammal communications* 2: 8-14.

6 Apéndice



Presentación



Conceptos



Descripción
de los efectos



Aplicación de
medidas



Bibliografía



Apéndice

A continuación, se listan las especies de plantas exóticas invasoras más frecuentes y sus métodos de erradicación o control. Se separan las especies de ecosistemas terrestres de aquellas que ocupan medios acuáticos. Se indican con un asterisco aquellas especies cuyo tratamiento comporta cierta peligrosidad por estar dotadas de elementos de defensa físicos o químicos. Para aquellas especies cuyo tamaño no permita el arranque manual, se procederá a la tala y destocoado de los ejemplares con los medios necesarios para ello. Tanto los tratamientos con herbicidas como los de lucha biológica varían entre especies, por lo que es necesario consultar el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras y los que publiquen las comunidades autónomas y otras publicaciones especializadas para utilizar los métodos más específicos. Generalmente, y debido al alto impacto sobre el resto de la flora, el uso de herbicidas está dirigido a los pies de las especies invasoras y no al tratamiento generalizado del área. La aplicación sobre tocones o mediante anillado de las cortezas son métodos frecuentes de aplicación. En todos los casos, se prestará atención a las estrategias reproductivas de las especies (semillas, rizomas) para impedir que estas estructuras se queden sobre el terreno, perpetuando la invasión. En la mayor parte de los casos, la erradicación de la flora exótica invasora es un proceso laborioso y a largo plazo que requiere revisiones e intervenciones periódicas. La interrupción anticipada de los tratamientos suele conllevar una mayor virulencia de los procesos invasivos. En algunos casos, la magnitud de la invasión es tal que solo es posible acometer su control para que no se extienda al territorio circundante.

Las especies incluidas en los catálogos mencionados pueden cambiar con el tiempo, así como los métodos de control, por lo que se recomienda consultar siempre la versión más actualizada de estas publicaciones.

ESPECIE	MÉTODO DE CONTROL (POR ORDEN DE PRIORIDAD)
Ecosistemas terrestres	
<i>Acacia dealbata</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Acacia farnesiana</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Acacia salicina</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Agave americana</i>	Arranque manual
<i>Ageratina adenophora</i>	Control mecánico, lucha biológica
<i>Ageratina riparia</i>	Control mecánico, lucha biológica
<i>Ailanthus altissima</i>	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Araujia sericifera</i> *	Arranque manual, herbicida
<i>Arundo donax</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Asparagus asparagoides</i>	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Atriplex semilunaris</i>	Arranque manual
<i>Buddleja davidii</i>	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Carpobrotus acinaciformis</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Carpobrotus edulis</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Centranthus ruber</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Cortaderia</i> spp.	Arranque manual, herbicida
<i>Cotula coronopifolia</i>	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Cylindropuntia</i> spp. *	Arranque manual

ESPECIE (CONTINUACIÓN)	MÉTODO DE CONTROL (POR ORDEN DE PRIORIDAD)
Ecosistemas terrestres	
<i>Cyrtomium falcatum</i>	Arranque manual
<i>Cytisus scoparius</i> (Canarias)	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Eschscholzia californica</i>	Arranque manual
<i>Fallopia japonica</i>	Arranque manual, herbicida, pastoreo constante
<i>Furcraea foetida</i>	Arranque manual, esterilizar (monocárpica)
<i>Hedychium gardnerianum</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Helianthus tuberosus</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Heracleum mantegazzianum</i> *	Arranque manual, herbicida
<i>Ipomoea indica</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Leucaena leucocephala</i>	Lucha biológica
<i>Maireana brevifolia</i>	Arranque manual
<i>Nassella neesiana</i>	Arranque manual
<i>Opuntia dillenii</i> *	Arranque manual, lucha biológica
<i>Opuntia maxima</i> *	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Opuntia stricta</i> *	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Oxalis pes-caprae</i>	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Arranque manual
<i>Pennisetum purpureum</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Pennisetum setaceum</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Pistia stratiotes</i>	Arranque manual
<i>Ricinus communis</i> *	Arranque manual, herbicida
<i>Robinia pseudoacacia</i> *	Arranque manual, herbicida
<i>Senecio inaequidens</i>	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Spartina alterniflora</i>	Herbicida
<i>Spartina densiflora</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Spartina patens</i>	Herbicida
<i>Spartium junceum</i> (Canarias)	Arranque manual
<i>Tradescantia fluminensis</i>	Arranque manual, herbicida, sombreado
<i>Ulex europaeus</i> (Canarias *)	Arranque manual, control mecánico, lucha biológica
Ecosistemas acuáticos	
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Azolla</i> spp.	Arranque manual, herbicida, lucha biológica
<i>Baccharis halimifolia</i>	Inmersión, arranque manual, herbicida
<i>Cabomba caroliniana</i>	Arranque manual, desecación
<i>Crassula helmsii</i>	Desecación, arranque manual, sombreado
<i>Egeria densa</i>	Desecación, herbicida, arranque manual
<i>Eichhornia crassipes</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Elodea canadensis</i>	Arranque manual
<i>Elodea nutallii</i>	Arranque manual
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Ludwigia</i> spp. (excepto <i>L. palustris</i>)	Arranque manual, herbicida, sombreado
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Arranque manual, lucha biológica
<i>Nymphaea mexicana</i>	Arranque manual, herbicida
<i>Salvinia</i> spp.	Arranque manual, lucha biológica

Otros documentos de la serie:

Disponibles también en soporte digital en la Web del
Ministerio para la Transición Ecológica

1

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

2

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE LAS
MEDIDAS CORRECTORAS DEL EFECTO BARRERA DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

3

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS EN
LAS FASES DE PLANIFICACIÓN Y TRAZADO

4

INDICADORES DE FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS CAUSADA POR
INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE

5

DESFRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS. ORIENTACIONES PARA REDUCIR LOS EFECTOS DE LAS
CARRETERAS Y FERROCARRILES EN FUNCIONAMIENTO

6

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS A DESFRAGMENTAR PARA REDUCIR LOS IMPACTOS DE LAS
INFRAESTRUCTURAS LINEALES DE TRANSPORTE EN LA BIODIVERSIDAD

EFFECTOS DE BORDE Y EFECTOS EN EL MARGEN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y ATENUACIÓN DE SU IMPACTO SOBRE LA BIODIVERSIDAD es el documento número 7 de la serie *Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte* que se elabora en el marco del grupo de trabajo sobre esta temática. Este grupo integra representantes de las administraciones de transporte y medio ambiente de las comunidades autónomas y del Estado, depende de la Comisión Estatal para el Patrimonio Natural y la Biodiversidad y lo coordina la Subdirección General de Biodiversidad y Medio Natural, de la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, del Ministerio para la Transición Ecológica.

Este nuevo libro revisa el conocimiento actual sobre efectos de las infraestructuras de transporte que no habían sido abordados hasta ahora. Además, proporciona indicaciones que faciliten la prevención de los mismos en el ámbito de la planificación, así como el diseño y la ejecución de medidas destinadas a reducirlos en los territorios afectados.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Centro de Publicaciones
Plaza de San Juan de la Cruz, s/n. - 28003 Madrid