



Guía para mitigar los atropellos de murciélagos



CEDR Programa Transnacional sobre Investigación Viaria Convocatoria 2013: Carreteras y Vida Silvestre

Financiado por Austria, Dinamarca, Alemania, Irlanda, Noruega, Suecia,
Países Bajos y Reino Unido

Tanteando en la oscuridad – efectividad de las medidas viarias para la mitigación atropellos de murciélagos

Guía para mitigar los atropellos de murciélagos

Autores del entregable:

Inazio Garin, Universidad del País Vasco UPV/EHU, País Vasco

Julie Dahl Møller, JDM Consult, Dinamarca

Jasja Dekker, Jasja Dekker Dierecologie, Países Bajos

Morten Christensen, Sweco, Dinamarca

Hans J. Baagøe, Flagermus Forskning & Rådgivning y el Museo de Historia Natural
de Dinamarca, Universidad de Copenhague, Dinamarca

Morten Elmeros, Universidad Aarhus, Dinamarca

Gestor del proyecto PEB: Marianne Lund Ujvári

Diciembre 2016

Tabla de contenido

Resumen ejecutivo	i
1 Introducción.....	1
2 Murciélagos y Carreteras	2
2.1 Impactos de las Carreteras	2
2.2 Conservación de murciélagos y mitigación.....	2
2.3 Consideraciones sobre las Especies.....	3
3 Monitoreo	6
3.1 Estudios Previos a la Construcción	6
3.2 Estudios posteriores a la construcción	7
4 Medidas de mitigación para murciélagos.....	8
4.1 Pasos superiores de fauna.....	8
4.2 Puentes adaptados	11
4.3 Estructuras de guía de vuelo.....	14
4.4 Pantallas de elevación del vuelo	15
4.5 Viaductos y puentes fluviales	17
4.6 Túneles y drenajes adaptados	19
5 Otras medidas para reducir el impacto de las carreteras.....	22
5.1 Iluminación artificial.....	22
5.2 Ruido	25
5.3 Reducción de la velocidad.....	26
5.4 Desviación y orientación	27
6 Mitigación ecológica	29
6.1 Gestión de los refugios.....	29
7 Conclusión y perspectivas	33
8 Agradecimientos	36
9 Referencias.....	36

Resumen ejecutivo

En las últimas décadas los esfuerzos para minimizar el impacto potencial de las infraestructuras de transporte en la vida silvestre se han vuelto cada vez más importantes. Se ha demostrado que las infraestructuras de transporte tienen efectos perjudiciales en el murciélago y sus poblaciones debido a colisiones de vehículos, perturbaciones de luz y ruido, pérdida y degradación del hábitat e indirectamente por la fragmentación del hábitat. Con la intención de promover el desarrollo de infraestructuras viarias ecológicamente sostenibles con un impacto mínimo sobre las poblaciones de murciélagos y de cumplir con las obligaciones legislativas de proteger los murciélagos, las agencias de infraestructuras viarias de varios países han publicado directrices nacionales sobre murciélagos y carreteras.

A lo largo de los años se han desarrollado una serie de medidas para mitigar los efectos negativos de las carreteras y el tráfico sobre los murciélagos. Los murciélagos se han observado utilizando la mayoría de estas medidas, aunque sólo unos pocos estudios recientes han evaluado de forma fiable la eficacia de algunas de las medidas. Sus resultados muestran resultados ambiguos, y sólo unas pocas medidas pueden ser consideradas como efectivas y recomendables si se construyen de forma óptima. En general, hay un conocimiento limitado tanto de la efectividad de las medidas de mitigación de murciélagos como de las deficiencias que se han documentado para algunas medidas, y por tanto las estrategias de mitigación que se aconsejan actualmente pueden no ser efectivas.

Las directrices enumeradas en esta guía tienen por objeto proporcionar a los promotores de carreteras, a las autoridades de tráfico y de la naturaleza, a consultores y a profesionales de la conservación una orientación actualizada sobre las mejores prácticas de mitigación de atropellos de murciélagos en las carreteras, así como ofrecer métodos pertinentes de monitorización de murciélagos. Las evaluaciones y recomendaciones para cada medida de mitigación se han basado en una elaborada revisión bibliográfica de las evidencias existentes sobre su eficacia.

Generalmente, los pasos de murciélagos deben ajustarse al paisaje local y deben ubicarse en las rutas de desplazamiento existentes para asegurar un elevado uso por los murciélagos. Las estructuras deben ser construidas para permitir a los murciélagos cruzar carreteras sin cambiar la altura o dirección del vuelo. Además, las estructuras de mitigación deberían estar bien conectadas con los hábitats de murciélagos adyacentes a la carretera. Algunas de las medidas pueden tomar años antes de que sean efectivas, p. e. reemplazar y mejorar los hábitats o plantar árboles y setos. Si los efectos adversos inmediatos sobre los murciélagos no se mitigan adecuadamente cuando la vía se abra al tráfico, existe el riesgo de que las poblaciones se vean reducidas o extintas antes de que las medidas de mitigación a largo plazo sean efectivas.

Teniendo en cuenta la limitada información sobre la efectividad de las medidas de mitigación de atropellos, es difícil recomendar medidas eficaces. Para cambiar esto y mejorar las estrategias de mitigación sobre los murciélagos, es esencial que se realicen mejores monitoreos previos y posteriores a la construcción y estudios más sólidos de la efectividad de las medidas de mitigación en futuros proyectos de desarrollo vial.

1 Introducción

El Reto

Las infraestructuras viarias pueden tener un impacto adverso en los murciélagos, causando mortalidad directa, degradando los hábitats vecinos y actuando como barrera. Las directrices presentadas aquí describen intervenciones que se han implementado en Europa para mitigar el impacto de las infraestructuras viarias en los murciélagos. Las evaluaciones y recomendaciones para las intervenciones se basan en extensas revisiones bibliográficas sobre su efectividad publicadas en artículos científicos e informes de seguimiento. Podemos decir que, en general, se ha implementado una variedad de medidas de mitigación y que no todos los métodos recomendados actualmente son efectivos. Recomendamos ensayos y evaluaciones sistemáticas y científicamente sólidas para mejorar las estrategias de mitigación y desarrollar infraestructuras viarias más sostenibles ecológicamente.

Los objetivos de las presentes directrices son, por un lado, proporcionar a los promotores de transporte por carretera y ferrocarril, autoridades de tráfico y naturaleza, a consultores y profesionales de la conservación una caja de herramientas mejorada para evaluar y minimizar los efectos de las infraestructuras de transporte sobre los murciélagos. Y por otro, desarrollar estrategias de mitigación mejores y más eficaces desde el punto de vista ecológico.

Las directrices describen brevemente:

- Aspectos de la biología de los murciélagos y las diferencias entre especies que deben tenerse en cuenta al planificar y desarrollar infraestructuras viarias y ferroviarias,
- Objetivos para los monitoreos previos y posteriores a la construcción y para el estudio de la efectividad de las medidas de mitigación.
- Recomendaciones prácticas basadas en revisiones de evidencias publicadas sobre uso y efectividad de medidas de mitigación de murciélagos (Berthinussen et al. 2013, Møller et al. 2016).

2 Murciélagos y Carreteras

2.1 Impactos de las Carreteras

Se ha demostrado que las infraestructuras viarias tienen efectos perjudiciales para los murciélagos. El tráfico y las carreteras causan mortalidad, reducen la funcionalidad ecológica de los paisajes que atraviesan los murciélagos y actúan como barreras (Abbott et al., 2015). Los murciélagos son longevos y por lo general sólo producen una cría al año, lo que hace que las poblaciones de murciélagos sean muy susceptibles a tasas de mortalidad más elevadas que lo normal. La baja tasa reproductiva también limita su capacidad de recuperación si la población ha menguado. Además, los murciélagos utilizan recursos que están muy dispersos en el paisaje. A menudo viajan entre 5 y 10 km cada noche, y algunas especies aún más, entre los sitios de reposo y los múltiples zonas de caza, y por lo tanto, pueden atravesar varias carreteras cada noche. La ubicación de los sitios de reposo y los cazaderos varían durante el año. Por lo tanto, se debe mantener una compleja red de hábitat y conectividad a través del paisaje para promover poblaciones viables de murciélagos.

Las infraestructuras viarias afectan a los murciélagos durante las fases de construcción y operación, pero sus efectos sobre la población pueden tardar muchos años antes de que se perciban. Las diferentes presiones y amenazas de las carreteras funcionan a diferentes escalas temporales. La destrucción de los refugios de cría y la pérdida y degradación del hábitat pueden tener impacto inmediato durante la fase de construcción. El ruido y la contaminación lumínica y la mortalidad en las carreteras serán una presión constante una vez que la vía se abra al tráfico, aunque los efectos sobre el tamaño de la población pueden tardar varios años en detectarse. El efecto barrera y los efectos de la degradación del hábitat pueden tomar un lapso de muchas generaciones antes de percibirse.

Los efectos de las diferentes amenazas y presiones de las carreteras sobre los murciélagos son acumulativos. Por lo tanto, el efecto de cada factor individual puede ser pequeño, pero todos combinados pueden tener un impacto significativo sobre las poblaciones de murciélagos afectados. Los efectos acumulativos y el lapso de tiempo entre el impacto y la detectabilidad de los efectos deben ser considerados al evaluar y monitorizar el desarrollo vial y la efectividad de las estrategias de mitigación.

2.2 Conservación de murciélagos y mitigación

Todas las especies de murciélagos europeos están protegidas por la Convención de Bonn, la Convención de Berna y el Acuerdo EUROBATS, ratificados por muchos países europeos. En la Unión Europea, todos los murciélagos están estrictamente protegidos por la Directiva sobre hábitats, que ha sido transpuesta en la legislación nacional de los Estados miembros.

Durante los últimos decenios, el conflicto entre los objetivos de conservación y las infraestructuras viarias ha sido cada vez más reconocido en varios países (por ejemplo, Limpens et al., 2005, Highway Agency 2006, National Road Authority 2006, Møller & Baagøe 2011, Brinkmann et al. 2016). Se han diseñado e implementado diversas medidas en las carreteras para proporcionar a los murciélagos sitios de cruce seguros, reducir el riesgo de mortalidad en las carreteras y aumentar la permeabilidad de las carreteras, o compensar la degradación y las pérdidas del hábitat.

Algunos pasos de fauna han sido diseñados y construidos específicamente para facilitar el cruce seguro de carreteras por murciélagos. Los murciélagos también utilizan pasos elevados y pasos inferiores diseñados para otras especies de vida silvestre y pasos

multifuncionales, siempre que los pasos sean adecuados para murciélagos y estén situados óptimamente en relación con sus rutas de desplazamiento y el uso del paisaje. Incluso puentes de carretera convencionales y otras estructuras de carretera técnicas, p. e. paneles de señalización vial, también pueden guiar a los murciélagos durante el trayecto si están localizados en su rutas habituales de desplazamiento.

Las intervenciones implementadas para los murciélagos son intuitivamente beneficiosas, y se ha observado que los murciélagos usan la mayoría de las medidas de mitigación. Sin embargo, la eficacia de la mayoría de las medidas no ha sido adecuadamente evaluada y documentada (Berthinussen et al., 2013, Møller et al., 2016). Recientes estudios científicos robustos han demostrado que algunas estructuras de mitigación pueden ser eficaces para algunas especies, mientras que otras medidas sólo son utilizadas por una proporción menor de murciélagos a la hora de cruzar las carreteras de manera segura (Abbott y otros, 2015, Berthinussen & Altringham 2015). En general, hay poca documentación de que las estrategias de mitigación actualmente recomendadas sean adecuadas para mitigar los efectos de la carretera a nivel local o en escala de población o paisaje. Para evaluar y desarrollar estrategias efectivas de mitigación de atropellos de murciélagos se necesitan estudios de construcción y pre-construcción apropiados detallados y sistemáticos, y monitoreo post-construcción de murciélagos en sitios mitigados y a escala de paisaje y población.

Como consecuencia de la falta de conocimiento de la efectividad de las medidas de mitigación de murciélagos, se debe aplicar un enfoque precautorio cuando se planifican carreteras y sistemas de mitigación de murciélagos. Se debe prestar especial atención cuando se planee una infraestructura en áreas con especies raras, poblaciones vulnerables pequeñas o especies con una distribución fragmentada.

2.3 Consideraciones sobre las Especies

Todas las especies de murciélagos pueden verse afectadas por las infraestructuras de transporte, pero el riesgo de impactos adversos difiere entre las especies según su comportamiento y uso del hábitat. Los especies de murciélagos muestran grandes diferencias de maniobrabilidad, ecolocalización y comportamiento de vuelo, y altura de vuelo típica en relación a estructuras verticales, estructuras de paisaje y topografía (Tabla 1).

Las especies de murciélagos relativamente grandes, de alas estrechas y menos maniobrables suelen cazar y desplazarse por encima de la altura del tráfico en el espacio aéreo abierto, lejos de la vegetación y de las estructuras artificiales. Sin embargo, estas especies también pueden volar a la altura del tráfico bajo ciertas condiciones y cerca de refugios, lo que los pone en riesgo de colisión. Las especies pequeñas y más maniobrables suelen volar dentro o cerca de la vegetación o cerca de la superficie de otras estructuras. Cuando estas especies adaptadas a maniobrar entre la vegetación tupida o enmarañada cruzan un tramo despejado, p.e. en una separación de vegetación creada por una carretera, tienden a volar a baja altura sobre la superficie. Estas especies también pueden estar en riesgo cuando cazan a lo largo de setos y bordes de bosque paralelos a carreteras.

El comportamiento de vuelo y el uso del paisaje de las especies de murciélagos determina su utilización de las medidas de mitigación, p.e. pasos inferiores pequeños pueden ser efectivos para especies de vuelo bajo, pero no para especies que se alimentan a media altura o en el espacio aéreo abierto. Por consiguiente, un conocimiento previo detallado sobre la presencia de especies en la zona del proyecto viario es crucial para tomar decisiones óptimas e implementar las estrategias de mitigación más efectivas para las especies presentes. Dentro de cada especie de murciélago también hay una gran plasticidad natural en el comportamiento. Las diferencias entre especies, el uso local del

hábitat y el comportamiento y su plasticidad deben ser considerados al planificar las infraestructuras viarias y seleccionar las estrategias de mitigación.

Tabla 1. Grupos funcionales de especies de murciélagos europeos basados en su comportamiento y alturas de vuelo típicos. El paréntesis indica que el conocimiento sobre la ecología de la especie es limitado.

Latin name	Common name	Dentro o cerca de la vegetación o superficies			Espacio abierto	
		A	B	C	D	E
<i>Rousettus aegyptiacus</i>	Zorro volador egipcio				(X)	
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	M. pequeño de herradura	X				
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	M. grande de herradura		X			
<i>Rhinolophus euryale</i>	M. mediterráneo de herradura		X			
<i>Rhinolophus mehelyi</i>	M. mediano de herradura		X			
<i>Rhinolophus blasii</i>	M. dalmata de herradura		(X)			
<i>Myotis daubentonii</i>	M. ratonero ribereño		X			
<i>Myotis dasycneme</i>	M. lagunero			X		
<i>Myotis capaccinii</i>	M. ratonero patudo			X		
<i>Myotis brandtii</i>	M. ratonero de Brandt		X			
<i>Myotis mystacinus</i>	M. ratonero bigotudo		X			
<i>Myotis auraszens</i>	M. ratonero bigotudo estepario		(X)			
<i>Myotis alcaethoe</i>	M. ratonero bigotudo pequeño		X			
<i>Myotis nipalensis</i>	M. ratonero bigotudo asiático		(X)			
<i>Myotis nattereri</i>	M. ratonero gris	X				
<i>Myotis escaleraei</i>	M. ratonero gris	X				
<i>Myotis emarginatus</i>	M. ratonero pardo	X				
<i>Myotis bechsteinii</i>	M. ratonero forestal	X				
<i>Myotis myotis</i>	M. ratonero grande			X		
<i>Myotis blythii</i>	M. ratonero mediano			X		
<i>Myotis punicus</i>	M. ratonero moruno			(X)		
<i>Nyctalus noctula</i>	Nóctulo mediano					X
<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Nóctulo grande					X
<i>Nyctalus leisleri</i>	Nóctulo pequeño					X
<i>Nyctalus azoreum</i>	Nóctulo de las Azores					(X)
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	M. enano			X		
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	M. de Cabrera			X		
<i>Pipistrellus hanaki</i>	M. de Hanak			(X)		
<i>Pipistrellus nathusii</i>	M. de Nathusius			X		
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	M. de borde claro			X		
<i>Pipistrellus maderensis</i>	M. de Madeira			(X)		
<i>Hypsugo savii</i>	M. montañero				X	
<i>Vespertilio murinus</i>	M. bicolor					X
<i>Eptesicus serotinus</i>	M. hortelano				X	
<i>Eptesicus nilssonii</i>	M. hortelano septentrional				X	
<i>Eptesicus isabellinus</i>	M. hortelano meridional				X	
<i>Eptesicus bottae</i>	M. hortelano de Botta				X	
<i>Barbastella barbastellus</i>	Barbastela			X		
<i>Plecotus auritus</i>	Orejudo dorado	X				
<i>Plecotus macrobullaris</i>	Orejudo alpino	X				
<i>Plecotus sardus</i>	Orejudo sardo	(X)				
<i>Plecotus austriacus</i>	Orejudo gris	X				
<i>Plecotus kolombatovici</i>	Orejudo de los Balcanes	(X)				
<i>Plecotus teneriffae</i>	Orejudo canario	(X)				
<i>Miniopterus schreibersii</i>	M. de cueva				X	
<i>Tadarida teniotis</i>	M. rabudo					X

- A. Murciélagos extremadamente maniobrables, que a menudo vuelan dentro del follaje, o cerca de vegetación, superficies y estructuras a alturas de vuelo variables. Cuando se desplazan, suelen seguir elementos de paisaje lineales. Vuelo bajo (típicamente <2 m) cuando se desplazan sobre huecos o espacios que se han abierto.
- B. Murciélagos muy maniobrables que suelen volar cerca de vegetación, paredes, etc. a alturas variables, pero ocasionalmente cazan dentro del follaje. Cuando se desplazan, suelen seguir elementos de paisaje lineales. Vuelan a una altura baja a media cuando viajan sobre huecos abiertos (normalmente <5 m).
- C. Murciélagos con maniobrabilidad media. Con frecuencia, cazan y se desplazan a lo largo de vegetación o estructuras a alturas variables, pero rara vez cerca o dentro de la vegetación. También puede cazar en áreas abiertas. Los desplazamientos sobre tramos abiertos generalmente tienen lugar a alturas bajas a medias (normalmente 2 - 10 m) sin tendencia clara a bajar el vuelo.
- D. Murciélagos con maniobrabilidad media con un patrón de vuelo más recto que los murciélagos de la categoría C. Cazán y se desplazan a cierta distancia de la vegetación y estructuras a varias alturas de vuelo. Ocasionalmente pueden volar, aunque nunca cazar, dentro de la vegetación. El desplazamiento en tramos abiertos tiende a ocurrir a media altura (2 - 10 m) sin tendencia clara a bajar el vuelo.
- E. Murciélagos menos maniobrables que suelen volar alto y en el espacio aéreo abierto lejos de la vegetación y otras estructuras. Estos murciélagos generalmente se desplazan sobre tramos abiertos a alturas medias o superiores (10 m y a menudo más altos). Debe hacerse hincapié en que incluso estas especies pueden volar bastante bajas sobre áreas abiertas bajo ciertas condiciones, p. e. cuando cazan insectos sobre superficies (pavimento) calientes, o cuando emergen de un refugio.

El comportamiento de cada especie de murciélago muestra una gran plasticidad natural. Las consideraciones apropiadas a esta plasticidad de comportamiento y patrones de vuelo específicos del sitio deben reflejarse en la planificación de estrategias de mitigación en los proyectos de desarrollo viario.

3 Monitoreo

Un estudio exhaustivo previo a la construcción es esencial para determinar el nivel de mitigación necesario y para seleccionar una estrategia de mitigación efectiva para todas las especies presentes en el área del proyecto. Más tarde, el monitoreo posterior a la construcción es importante para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación, tanto para acumular conocimiento para desarrollar estrategias de mitigación más efectivas en el futuro, como para asegurar que se mantenga la funcionalidad de las medidas.

3.1 Estudios Previos a la Construcción

Los objetivos de los estudios previos a la construcción deberían ser:

- Registrar todas las especies de murciélagos que puedan verse afectadas por el proyecto de carreteras.
- Encontrar todas las principales rutas de vuelo y puntos donde los murciélagos cruzarán la carretera proyectada y estudiar el comportamiento de los murciélagos en estos posibles sitios de cruce en todos los transectos de carretera alternativos que se evalúen en el estudio del impacto ambiental.
- Identificar las zonas importantes de caza y sitios de reposo de murciélagos en el área del proyecto.

Especies presentes y hábitats de búsqueda: Los estudios previos a la construcción deben centrarse en paisajes heterogéneos y hábitats donde la densidad y diversidad de especies de murciélagos son más altas, p. e. bosques caducifolios, bordes de bosques, setos, matorrales, parques, jardines antiguos, hábitats ribereños, lagos, fiordos, etc. Todos estos hábitats de murciélagos potencialmente valiosos deben ser monitorizados en un amplio corredor a lo largo del línea viaria prevista para detectar todas las poblaciones de murciélagos potencialmente impactadas. Las pequeñas especies de murciélagos regularmente vuelan hasta 5 kilómetros de su colonia o refugio y las especies más grandes incluso distancias mayores.

Lugares de cruce: Se debe poner un esfuerzo especial para localizar sitios donde la carretera proyectada separa elementos de paisaje lineales que potencialmente pueden actuar como rutas de desplazamiento para murciélagos, es decir, setos, líneas de árboles, muros de piedra o roca, bordes de bosque, ríos y arroyos, etc. Los pases de murciélago y la conducta de vuelo deben registrarse en detalle en estos sitios para evaluar la necesidad de medidas de mitigación y poder comparar con estudios posteriores a la construcción. Debido a la variación estacional en el comportamiento del murciélago, es necesario al menos un año para los estudios previos a la construcción. Sin embargo, se recomienda encarecidamente iniciar estudios previos a la construcción de 2 a 3 años antes de que se utilice la carretera para registrar las diferencias potenciales entre años.

El seguimiento previo a la construcción debería aplicar métodos robustos, cuantitativos y estandarizados para proporcionar datos detallados sobre la ocurrencia de murciélagos y datos cuantitativos sobre la actividad en los cruces con los que se puedan comparar los resultados de monitoreo postconstrucción y así poder evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación. Por lo tanto, se debe desarrollar un protocolo claro el que quede compilada la información necesaria para poder utilizar los mismos métodos en estudios posteriores a la construcción (por ejemplo, técnicas de campo, sitios de muestreo, cronología del seguimiento y períodos de observación). Se necesitan varios estudios separados para registrar variaciones estacionales potenciales de la actividad de los murciélagos en los puntos de cruce, desde la primavera hasta el otoño.

Refugios de murciélagos: Los edificios, las cavidades subterráneas y los árboles grandes que pudieran contener refugios de verano de murciélagos (de maternidad, de transición y/o de apareamiento) y refugios de invierno (hibernáculos) deben ser inspeccionados minuciosamente. Se debe prestar especial atención a todos los edificios y árboles que serán demolidos o talados, y todos los edificios y árboles en las proximidades de la carretera proyectada. Las búsquedas de refugios de murciélagos son parte integrante de las 4-5 sesiones de estudio que habría que realizar intercaladas durante el verano.

3.2 Estudios posteriores a la construcción

Se debe monitorizar después de la construcción para documentar que las medidas de mitigación implementadas han alcanzado sus metas y que el plan de mitigación alcanza el objetivo de mantener la viabilidad de las poblaciones de murciélagos afectadas por el desarrollo de carreteras.

Los propósitos de los programas de monitoreo después de la construcción son:

- Evaluar la efectividad de las medidas de mitigación e identificar si se necesitan modificaciones o acciones de mantenimiento.
- Evaluar el impacto del diseño de las carreteras y la mitigación a escala de paisaje y población.

Un programa apropiado de monitoreo después de la construcción debe asegurar que los efectos adversos imprevistos de la carretera sean identificados y remediados. El programa de seguimiento debe ser un componente integrado del programa de mantenimiento de la infraestructura para asegurar que se mantenga la funcionalidad y la efectividad de las medidas.

El enfoque metodológico del programa debe ser robusto, replicable y cuantitativo para permitir el análisis estadístico. El protocolo de monitoreo debe asegurar que los resultados son comparables con la información del estudio previa a la construcción. Para evaluar la eficacia de las estructuras de mitigación se deben estudiar también los sitios de referencia no comprometidos por la carretera y que sean adyacente al paso y/o en las inmediaciones de la carretera.

Recomendaciones para los estudios previos y posteriores a la construcción

- El diseño del estudio debe ser riguroso y cuantitativo tanto para estudios previos como posteriores a la construcción para permitir la comparación y evaluar la efectividad.
- Definir las especies objetivo y las metas tanto para la medida y el monitoreo (uso versus efectividad).
- Seleccionar métodos adecuados y exactos e incluir sitios de referencia para evaluar la efectividad.
- Los planes de monitoreo y evaluación a largo plazo deben integrarse en el plan general de gestión de carreteras para asegurar la funcionalidad a largo plazo.
- Los informes de seguimiento deben tener un resumen claro que incluya resultados cuantitativos, análisis estadísticos y unidades de medida de los países.

4 Medidas de mitigación para murciélagos

Los murciélagos cruzan con asiduidad carreteras y vallados que para la mayoría de las especies normalmente no suponen un obstáculo, pero debido a que a menudo no lo hacen por encima del nivel del tráfico se exponen a colisiones con vehículos. En los puntos donde es conocido el tránsito habitual de murciélagos, debieran construirse estructuras para facilitar el paso seguro, para aumentando así la permeabilidad de la carretera y reduciendo el riesgo de mortalidad por colisiones.

4.1 Pasos superiores de fauna

Descripción general y función

Los pasos elevados de fauna silvestre son estructuras con vegetación construidas sobre las infraestructuras viarias para reducir el riesgo de colisión y mantener la conectividad del paisaje para la fauna. Estos pasos elevados proporcionan estructuras de cruce seguras para la mayoría de las especies de murciélagos, independientemente de su comportamiento de vuelo y maniobrabilidad. Para los murciélagos, la utilización o no de los pasos elevados depende de la cobertura vegetal y de la conectividad con los hábitats adyacentes, mientras que el diseño detallado, el sustrato y la pendiente probablemente sean menos críticos. Asimismo, los murciélagos también utilizan otros tipos de pasos construidos para otras especies silvestres, p. e. grandes ungulados y carnívoros.

Los viaductos para los murciélagos debieran ser plantados con árboles y arbustos. La vegetación a través del paso superior debe proporcionar una estructura de guía continua y la protección contra el ruido y la luz del tráfico que circula por debajo. Las pantallas de deflexión sonora y lumínica deben instalarse en los bordes exteriores del paso superior para reducir la perturbación del tráfico. En los pasos grandes, los bancos y muros de tierra levantados en los bordes exteriores también pueden proporcionar orientación y protección contra el ruido.

Los pasos elevados más anchos pueden tener una mayor diversidad estructural y específica de la cubierta vegetal y los hábitats. Aquellos con una cubierta densa de vegetación tanto de árboles como de arbustos son particularmente valiosos para las especies de murciélagos forestales adaptados a hábitats cerrados (Fig. 1). Las especies adaptadas a estos hábitats suelen ser reacias a cruzar áreas abiertas como las grandes carreteras que atraviesan sus hábitats forestales, las cuales pueden constituir una barrera significativa. Para facilitar el uso y tránsito a través de estas estructuras por parte de estas especies forestales se pueden construir cercas a lo largo de los bordes exteriores del paso superior y a lo largo de la carretera a ambos lados del paso para que sirvan como guía.

En cuanto a los pasos elevados multifuncionales, tales como las pequeñas carreteras, los caminos agrícolas y forestales o los senderos, no deben suponer un obstáculo para su uso por parte de los murciélagos si la actividad humana y el tráfico en dicha estructura es baja durante la noche.

Consideraciones de importancia

- Los pasos superiores deben ser plantados con árboles y arbustos autóctonos y formar una guía ininterrumpida a lo largo de la estructura.
- La vegetación en el paso superior debe conectarse mediante setos y árboles a los hábitats presentes en el paisaje circundante para guiar a los murciélagos hacia el paso.

- Debido a que puede llevar varios años hasta que la vegetación forme una estructura de guía eficaz, esta debe ser plantada tan pronto como sea posible en la fase de construcción, todo ello para permitir que los murciélagos se habituen a las estructuras. Se recomienda plantar árboles de 2-4m de altura y especies de rápido crecimiento.
- Se deben instalar pantallas de deflexión sonora y lumínica o bancos de tierra a lo largo de cada lado del paso superior para reducir las perturbaciones del tráfico.
- Las cercas y las pantallas deben estar firmemente conectadas a los vallados laterales de la carretera para guiar a las especies pequeñas, pues éstas acostumbran a volar muy pegadas a la vegetación y a cualquier estructura (Fig. 2).
- Los pasos elevados con uso múltiple (peatonal, tráfico, fauna, agrícola...) sólo debe favorecerse si la vegetación del viaducto y de los accesos se mantienen intactos y el tráfico es mínimo durante la noche.
- Las carreteras y vías de uso conjunto a los pasos así como sus inmediaciones no deben estar iluminadas.
- El acceso a los pasos superiores no debe ser obstaculizado por áreas con iluminación artificial, tales como otros caminos y edificios.

Mantenimiento

Incluso pequeños huecos en la estructura de guía formado por los setos y cercas pueden desviar los murciélagos del paso elevado. Los setos, las cercas y las pantallas deben ser por tanto inspeccionados regularmente para asegurarse de que no se han producido aberturas.

La vegetación en el paso superior y la vegetación que une el paso superior con los hábitats y las rutas de vuelo adyacentes deben ser manejadas de acuerdo con las especies objeto durante toda la vida del paso superior.



Figura 1 - Los pasos elevados de fauna pueden funcionar como estructuras conectivas para todas las especies de murciélagos. Para resultar eficaces deben contar con vegetación elevada (Foto de E. van der Grift).



Figura 2 - Las cercas y las pantallas deben estar muy bien conectadas, ya que incluso pequeños huecos pueden alejar los murciélagos del viaducto y desviarlos hacia la carretera (Photo by SWILD & NACHTaktiv).

4.2 Puentes adaptados

Descripción general y función

Los puentes y pasarelas sobre grandes redes viarias a través de las cuales discurren carreteras locales, caminos agrícolas y forestales, o senderos peatonales son usados incidentalmente por los murciélagos como estructuras de paso. Modificando convenientemente dichas pasarelas en aquellos lugares conocidos por ser puntos de tránsito de murciélagos se conseguiría mejorar la idoneidad de esos puentes como estructuras de paso. Aún así, las estructuras adaptadas no deben usarse como sustitutos de los pasos de fauna específicamente diseñados, si bien pueden proporcionar valiosas estructuras adicionales de paso seguro para los murciélagos.

La modificación más efectiva de puentes y pasarelas es la adición de un borde verde con arbustos y árboles en uno o ambos lados de la estructura (Fig. 3). En dichas circunstancias, la vía que discurre sobre el puente debe ser colocada preferiblemente hacia el borde exterior para maximizar la anchura del pasillo verde. Esta anchura debe ser suficientemente grande y el sustrato lo suficientemente profundo como para soportar el crecimiento de arbustos y árboles pequeños (Fig. 4). Los bordes verdes pueden ser diseñados en puentes nuevos o reconstruidos en puentes existentes.

Una modificación más sencilla tanto para puentes existentes como para los de nueva creación es la instalación de paneles a ambos lados de la vía (Fig. 5). Los paneles son instalados para reducir el ruido y las perturbaciones de luz del tráfico. Los paneles también pueden proporcionar una mejor reflexión acústica y guiar a los murciélagos hacia el puente. Una estructura densa de barandillas a lo largo de los puentes podría desempeñar una función de guía similar pero no protege a los murciélagos de las citadas perturbaciones. Aún así, se desconoce la eficacia de las barandillas o de las cercas de malla como estructuras de guía.

Consideraciones de importancia

Los puentes y pasos modificados provistos de setos verdes presentan buen potencial como estructuras de mitigación para una amplia gama de especies de murciélagos si se colocan en una ruta de desplazamiento conocida. El montaje de paneles en puentes es menos costoso que la instalación de bordes y siembra de vegetación, pero el método probablemente sólo es efectivo para las especies adaptadas a volar dentro o cerca de la vegetación o superficies y sensibles a la luz, como lo son las especies del género *Rhinolophus*. Los paneles reacondicionados deben considerarse como una instalación experimental. Dichas instalaciones deben ser controladas y ajustadas si es necesario.

- La línea de árboles y setos plantados en los bordes verdes deben formar una estructura de guía ininterrumpida sobre los puentes.
- La vegetación y los paneles instalados en el puente modificado deben estar estrechamente conectados con setos y líneas de árboles a los hábitats circundantes para guiar al murciélago que se halle en ruta hacia el paso elevado.
- La vegetación tarda muchos años en desarrollarse y convertirse en una estructura de guía eficaz para ser utilizados por los murciélagos. En consecuencia, la vegetación debe plantarse lo más pronto posible. Se recomienda plantar árboles de 2-4 m de altura y especies de rápido crecimiento.
- Las pasos con bordes verdes deben estar equipadas con pantallas deflectoras de ruido y luz para reducir la perturbación del tráfico que circula por debajo.

- Los paneles utilizados para modificar las pasarelas deben ser suficientemente altos para proporcionar una buena cobertura para los murciélagos (> 2 m).
- La intensidad del tráfico nocturno que discurra por los puentes modificados debe ser baja para minimizar el riesgo de colisión, y no debiera existir iluminación.

Mantenimiento

Incluso pequeños huecos en la estructura de guía formado por setos y cercas pueden desviar a los murciélagos del paso elevado. Los setos, las cercas y las pantallas deben ser inspeccionados regularmente para asegurarse de que no se han producido aberturas.

La vegetación en el paso superior y la vegetación que une el paso superior con los hábitats y las rutas de vuelo circundantes deben ser manejadas de acuerdo con las especies objeto durante toda la existencia del paso superior.



Figura 3 Puente de nueva construcción con pista de acceso agrícola bordeado por dos setos formando un corredor de vuelo para los murciélagos a través del BAB A14 en Alemania (Foto de Udo Tegethof).



Figura 4 – Pasarela modificada con setos en la carretera estatal S170n en Alemania. La vegetación se desarrollará aún más para formar una estructura de guía densa e íntegra (Foto de SWILD & NACHTaktiv).



Figura 5 - Los paneles retro-ajustados a las barandillas de esta pasarela han hecho aumentar el número de murciélagos del género *Rhinolophus* que la utilizan como paso en Bourges, Francia (Foto de L. Arthur).

4.3 Estructuras de guía de vuelo

Descripción general y función

Las estructuras de guía de vuelo son estructuras ligeras que cubren las carreteras (Fig. 6). Tienen como objetivo guiar a los murciélagos para que crucen la carretera por encima del tráfico y así reducir las tasas de mortalidad y mantener la conectividad del paisaje. Están construidas en aquellos lugares donde las redes viarias han interceptado los elementos lineales del paisaje existentes tales como setos y bordes de bosque que muchas especies de murciélagos utilizan en sus rutas de desplazamiento. La existencia de una discontinuidad en una estructura lineal provoca que las especies adaptadas al vuelo en hábitats cerrados tiendan a descender en altura y aumente su vulnerabilidad ante las colisiones. Las estructuras de guía de vuelo están destinadas a proporcionar una unión física entre los elementos del paisaje existentes a cada lado de la carretera.

Las estructuras de guía de vuelo son recomendables para aquellos lugares donde se haya constatado la ruptura de una ruta de vuelo por redes viarias. Son adecuadas en las carreteras que se construyen al mismo nivel que el terreno circundante o en aquellas que requieren cortes del terreno. Para mejorar su uso se deben incorporar estructuras de guía tales como arbustos y árboles entre la estructura y los elementos del paisaje adyacentes usados por los murciélagos en sus rutas de desplazamiento.

Las estructuras de guía de vuelo existentes hoy día han sido construidas típicamente con cables de acero o cuerdas, redes o estructuras de celosía ligera. Otras se construyen como estructuras más cerradas, parecidas a pequeños puentes.



Figura 6 – Estructura de guía de vuelo para murciélagos en la A89 al oeste de Lyon en Francia. La estructura cerrada del pórtico puede proteger a los murciélagos contra el ruido del tráfico y la perturbación de la luz (Foto de M. Elmeros).

Consideraciones de importancia

Se ha demostrado que los pórticos de alambre y malla de alambre son ineficaces y no se recomiendan. En espera de evaluaciones adicionales de tales diseños y otras de estructura abierta (estructuras de celosía), estas últimas tampoco son recomendadas. Las estructuras de cable con grandes esferas instaladas a pequeños intervalos debieran tomarse como medida temporal. Las grandes esferas con múltiples superficies reflectantes pueden actuar como reflectores acústicos, pero el método debiera ser rigurosamente probado.

Se han observado murciélagos a través de estructuras de guía con diseños más cerrados, pero éstas debieran ser testadas del mismo modo para ver su efectividad. Cabe destacar algunos puntos:

- Las estructuras de guía de vuelo deben instalarse exactamente en las rutas de vuelo conocidas.
- La estructura de guía de vuelo debe estar construida de manera que los murciélagos no deban modificar la altura de vuelo y así seguir la estructura.
- La estructura de guía de vuelo debe estar bien conectada con los setos y los árboles de los hábitats adyacentes así como con las estructuras del paisaje favorecidas por los murciélagos en sus rutas de vuelo a ambos lados de la carretera.
- Las estructuras de guía de vuelo y las vías adyacentes no deben estar iluminadas.

4.4 Pantallas de elevación del vuelo

Descripción general y función

Una pantalla de elevación del vuelo consiste en árboles y arbustos ya existentes o plantados *per se* en los bordes de la carretera y a ambos lados de ella. La alta vegetación cerca de la carretera está prevista para alentar a los murciélagos a mantener o aumentar su altura de vuelo y de este modo cruzar la carretera a una altura segura por encima del tráfico. El objetivo de estos *trampolines* es mantener las rutas de desplazamiento de murciélagos existentes y reducir el riesgo de mortalidad en el lugar. Muchas especies de murciélagos tienden a cruzar áreas abiertas a una altura baja y por lo tanto experimentan un alto riesgo de colisión cuando las carreteras interceptan sus rutas de desplazamiento. Preferiblemente, las copas de los árboles situados a ambos lados de la carretera debieran unirse y formar una única estructura continua. La plantación de matorral denso o pantallas de barrera a ambos lados de la carretera forzarán a los murciélagos a tomar altura suficiente para cruzar la vía y evitar el tráfico. Las rampas y los terraplenes a lo largo del camino podrían ser utilizados en combinación con los árboles para aumentar aún más la altura del vuelo de los murciélagos.

El uso y la eficacia de las pantallas de elevación del vuelo depende del comportamiento de vuelo específico. Por lo tanto, la estructura detallada puede depender de la especie objeto. Si por cuestiones de seguridad vial no es posible crear una pantalla de vegetación densa, las especies que se desplazan a medianas alturas cerca de la vegetación (p. e. las especies del género *Pipistrellus*) volarán a mayor altura al retirar la vegetación de sotobosque y las ramas inferiores de los árboles. Sin embargo, las especies adaptadas a hábitats cerrados disminuirán su altura de vuelo si se han eliminado dichas ramas inferiores y el sotobosque.

Para estas especies (p. e. varias del género *Myotis*), un denso matorral o pantallas de barrera cerca de los márgenes de la carretera podría forzar a una mayor proporción de los murciélagos a elevar el vuelo sobre el tráfico. Pero estas estructuras no son aconsejables para especies con elevada capacidad de maniobra (como los géneros *Rhinolophus*, *Plecotus* y algunas especies del género *Myotis*). Éstas pueden volar incluso a través de una vegetación relativamente densa y atravesarían pantallas de vegetación sin la necesidad de elevar el vuelo. Si se instalan pantallas totalmente impermeables, bien muchos de estos murciélagos circundarán las pantallas hasta uno de sus extremos para terminar cruzando la carretera a baja altura, o bien superarán la pantalla por arriba y descenderán a baja altura en el espacio entre las dos pantallas que bordean la carretera. En las carreteras de lugares llanos estas estructuras no serían necesarias para las especies de murciélagos de vuelo medio y alto.

Consideraciones de importancia

Las pantallas de elevación del vuelo han demostrado cierto potencial a la hora de reducir el riesgo de colisión en algunas especies en carreteras de un solo carril (grupo B y C, Tabla 1), pero estas medidas no siempre inducen el aumento en la altura del vuelo por encima del tráfico. Además, la eficacia para una misma especie puede variar entre sitios.

No se recomienda su uso en carreteras de gran anchura, ya que la probabilidad de que los murciélagos desciendan sobre la vía es demasiado elevada. Los intentos de mantener una elevada altura de vuelo de los murciélagos en la mediana central de autovías y autopistas mediante pantallas o postes no han tenido éxito.

- Las pantallas de elevación del vuelo debieran utilizarse sólo de manera experimental. Estas instalaciones deben ser monitoreadas para decidir si son suficientemente efectivas, y la vegetación y las pantallas deben ser manejadas según las necesidades.
- El conocimiento de la composición específica de un lugar y el comportamiento de vuelo de esas especies es esencial para decidir sobre el diseño más efectivo.
- Es probable que haya especies con diversos grados de maniobrabilidad en los lugares donde se hayan instalado estas estructuras. Se deben considerar por tanto las ventajas y desventajas potenciales para cada una de las especies.
- Debe tenerse mucha cautela si se pretende utilizar estas estructuras para las especies maniobrables, ya que estas tienen tendencia a bajar el vuelo entre los claros y huecos de la vegetación.
- Las pantallas de elevación del vuelo no deben usarse para las especies adaptadas a ambientes cerrados (grupo A, Tabla 1), ya que pueden incluso aumentar el riesgo de mortalidad para estas especies.
- En tramos elevados de carreteras sobre terraplenes o puentes bajos, estas medidas deben considerarse solo para las especies de vuelo medio y alto (grupo D y E, Tabla 1).
- Este tipo de pantallas pueden aumentar el riesgo de mortalidad en caso de que los murciélagos las usen como elementos lineales en sus rutas de vuelo o como zona de caza. Por tanto, es importante validar que estas estructuras son usadas como se pretende y monitorear si cualquier actividad no deseada del murciélago en la estructura causa un mayor riesgo de mortalidad.

Ubicación y diseño

- Deben colocarse exactamente en las ruta de vuelo existentes.
- Se deben usar árboles y arbustos locales de hoja caduca.

- El seto y la línea de árboles deben alentar a los murciélagos a aumentar gradualmente su altura de vuelo a medida que se acercan a la pantalla.
- La revegetación debe realizarse en una etapa temprana de la fase de construcción para permitir que la vegetación disponga de suficiente tiempo para desarrollarse antes de que la carretera se abra al tráfico.
- La estructura para elevar la altura de vuelo debe estar bien conectado al paisaje circundante por setos y árboles existentes o plantados (no aplicable a estructuras instaladas en puentes).

Mantenimiento

Las pantallas de elevación del vuelo compuestas de árboles o arbustos requieren un mantenimiento regular de la vegetación para obtener y mantener su funcionalidad. Un plan detallado de mantenimiento para la vegetación y la poda regular es importante para preservar su función.

4.5 Viaductos y puentes fluviales

Descripción general y función

Las dimensiones de los viaductos y puentes fluviales varían ampliamente desde los puentes fluviales cortos y relativamente bajos a través de pequeños valles, pasando por estructuras de puentes más largas a través de los humedales, hasta estructuras altas sobre grandes cañones en áreas montañosas.

Por lo general, los viaductos no están contruidos para mitigar los impactos de la carretera en la vida silvestre y el medio ambiente, pero debido al espacio y a la separación, pueden funcionar bien como estructura de paso para muchas especies de vida silvestre. Los viaductos pueden infligir una perturbación mínima a los hábitats y tipos de vegetación adyacentes, y ayudan a preservar los corredores ecológicos y los hábitats silvestres existentes bajo ellos, p. e. cursos de agua, setos y líneas de árboles, que son atractivos como rutas de migración para muchas especies de murciélagos (Fig. 7). Los viaductos y puentes fluviales son preferibles a los caminos contruidos sobre terraplenes que disponen de túneles y drenajes como estructuras de paso.

El uso conjunto de caminos secundarios, ciclables y senderos peatonales probablemente no afecte al uso del paso inferior por los murciélagos, siempre que el flujo humano y las perturbaciones sean limitadas durante la noche.

Consideraciones de importancia

La eficacia de los viaductos y puentes fluviales depende de su tamaño. Los puentes espaciosos con una gran separación permiten el paso de una gran diversidad de especies. Los puentes bajos podrían ser considerados principalmente como estructuras de paso seguro para las especies adaptadas a ambientes cerrados.

- En aras de mantener la conectividad del paisaje deben ser preservados en sus condiciones naturales los corredores ecológicos, los setos, los sotos y los hábitats existentes bajo los puentes y viaductos.
- Los ríos y cursos de agua, incluyendo la orilla del río, deben mantenerse intactos y en sus estados naturales en los lugares donde son cruzados por puentes.
- Las copas de los árboles de setos y sotos fluviales adyacentes al puente no deben extenderse por encima del nivel de la carretera. Los elementos salientes (ramas, copas)

podrían funcionar de guía y conducir a las especies de vuelo medio y alto a entrar en conflicto con el tráfico.

- Las barreras o vallas de malla deben ser consideradas en carreteras sobre puentes bajos y puentes a nivel con el entorno y que cuenten en sus inmediaciones con estructuras que puedan ser utilizadas por los murciélagos en sus desplazamientos, p. e. copas de árboles en setos y bordes de bosque.
- El acceso al viaducto no debe ser obstaculizado por áreas con iluminación artificial, p. e. otras vías, caminos o edificios, u otras actividades humanas que causan molestias.
- Cualquier vía o camino (peatonal o ciclable) que discurra por debajo de un puente o viaducto no debería estar iluminado. Si la iluminación es esencial para la seguridad del tráfico, tanto la intensidad de la luz como la zona iluminada más allá de la vía deben ser mínimos.
- Sobre los cauces fluviales, la superficie del agua no quedar iluminada, ya que muchas especies que viajan y se alimentan en las vías fluviales muestran un fuerte aversión a la luz.



Figura 7 – Los viaductos y puentes fluviales deben preservar las estructuras vegetales y los hábitats utilizados por los murciélagos como corredores de vuelo (Foto de M. Elmeros).

4.6 Túneles y drenajes adaptados

Descripción general y objetivo

Los túneles y conductos de drenaje construidos para facilitar el paso de animales pequeños y medianos también son utilizados por los murciélagos como lugares seguros para cruzar. Los murciélagos también pueden utilizar túneles que han sido construidos para fines distintos de la vida silvestre, por ejemplo para peatones o bicicletas, o como caminos secundarios y senderos. Los túneles y los drenajes son menos espaciosos que los puentes abiertos y menos adecuados como paso para los murciélagos. El tamaño -particularmente la altura- es un factor significativo en la determinación de la eficacia de estos pasos inferiores. Los túneles y los conductos son principalmente adecuados para especies de vuelo maniobrable dentro o cerca de la vegetación, pero los grandes pasos inferiores pueden también acomodar a algunas especies que habitualmente se desplazan a una altura media.

Para garantizar la función y la efectividad de los murciélagos, los pasos inferiores deben diseñarse de acuerdo con la vegetación local, la topografía y el uso del hábitat y las rutas de desplazamiento de los murciélagos. La vegetación hasta la entrada debe conectarse con los setos existentes y otras características del paisaje que pueden funcionar como guía en los desplazamientos de los murciélagos. Generalmente, los drenajes adaptados parecen ser más eficaces que los túneles, posiblemente porque las vías fluviales funcionan como rutas de desplazamiento para muchos murciélagos.

El uso de túneles y conductos multifuncionales por los murciélagos se ve reducido por la iluminación artificial cerca o dentro de ellos. Restringir o modificar la iluminación en y alrededor de estos pasos inferiores podría aumentar su uso por los murciélagos.

Consideraciones de importancia

Los túneles y los conductos de drenaje adaptados pueden ser medidas de mitigación eficaces para las especies de murciélagos de vuelo bajo y altamente maniobrable en o cerca de la vegetación o superficies. El uso de los murciélagos y la eficacia de los túneles y drenajes varían notablemente entre los sitios dependiendo de las dimensiones y la presencia de estructuras guía hasta estos pasos.

- El diseño de túneles y conductos de drenaje debe ser cuidadosamente considerado con referencia a todas las especies presentes en la localidad y sus rutas de desplazamiento.
- Los túneles y drenajes adaptados para los murciélagos siempre deben ser construidos lo más alto y ancho posible para dar cabida a tantas especies como sea posible.

Las estimaciones mínimas para la altura (H) y el ancho (W) recomendados de túneles y conductos para cada grupo funcional de especies (Tabla 1) son:

- Grupo A: H >2 m, W >2 m
- Grupo B: H >2 m, W >2 m sobre cursos de agua
H >4 m, W >4m sobre tierra
- Grupo C: H >4.5 m, W >5 m
- Grupo D: H >4.5 m, W >5 m. Su eficacia es muy cuestionable.
- Grupo E: No existe un método de mitigación recomendable para estas especies

- Los murciélagos pueden usar pasos más pequeños que los mencionados, pero la eficacia del paso será más incierta. Los pasos inferiores sólo deben utilizarse en combinación con buenas estructuras de guía y vallas en la carretera por encima del paso.

- Las copas de los árboles de setos y bosques adyacentes al puente no deben extenderse por encima del nivel de la carretera.
- El tráfico humano y las perturbaciones en túneles multifuncionales y drenajes deben ser mínimos durante la noche.

Ubicación y diseño

- Los túneles y conductos de drenaje adaptados deben estar situados en las rutas de desplazamiento existentes de murciélagos.
- Los pasos inferiores deben ser diseñados y orientados para que los murciélagos no necesiten cambiar su altura o dirección de vuelo para volar a través de la estructura.
- Los túneles y drenajes deben estar bien conectados con los setos adyacentes y los hábitats de los murciélagos (Figs. 8 y 9).
- Los cursos de agua deben mantenerse en sus estados naturales tanto como sea posible.
- Las pantallas de barrera deben instalarse en la carretera para reducir el ruido y las perturbaciones de luz en la ruta de desplazamiento hasta el paso subterráneo. Las pantallas también pueden dificultar el acceso a la carretera por los murciélagos de bajo vuelo que tratan de cruzar la carretera.
- Las superficies verticales alrededor de las entradas de los pasos inferiores pueden guiar a los murciélagos hacia el paso subterráneo.
- El acceso a los túneles y drenajes no debe ser obstaculizado por una vegetación densa o áreas con iluminación artificial como pueden ser otros caminos y edificios, y otras actividades humanas que causen ruido.
- Si los túneles y conductos de drenaje son de uso común con carreteras y caminos, éstos no deberán de estar iluminados (Fig. 8). Si la iluminación es esencial para la seguridad del tráfico, la intensidad de la luz y la direccionalidad lejos de la superficie de la carretera deben ser restringidos. La superficie del agua no debe estar iluminada, ya que muchas especies se alimentan en las vías fluviales tienden a evitar la iluminación.



Figura 8 - Los murciélagos pueden usar túneles multifuncionales si hay poco tráfico humano y poca luz en el paso subterráneo durante la noche. Nunca se debe iluminar la vía de agua con farolas (Foto M. Elmeros).



Figura 9 - Setos plantados para guiar a los murciélagos en el túnel bajo la carretera estatal S170n en Alemania. Las vallas altas (> 5m) en la carretera por encima del paso subterráneo mejoran la efectividad del paso para las especies de vuelo bajo y pueden funcionar como una pantalla para elevar el vuelo de las especies que vuelan a alturas medias y altas (Foto SWILD & NACHTaktiv).

5 Otras medidas para reducir el impacto de las carreteras

Se pueden emplear otras intervenciones para reducir el impacto de las carreteras en los murciélagos, como por ejemplo reducir la contaminación lumínica y acústica, disuadir a los murciélagos de la carretera o desviar los murciélagos a lugares seguros para cruzar. Las medidas que disuaden o desvían a los murciélagos de la carretera pueden aumentar el efecto de barrera de la infraestructura. Por lo tanto, sólo deben utilizarse en combinación con medidas que proporcionen puntos de cruce seguros para los murciélagos. Las intervenciones para disuadir a los murciélagos pueden incluir luz artificial y pantallas de barrera, y las cercas, líneas de árboles y setos pueden utilizarse para desviar a los murciélagos hacia pasos de fauna.

5.1 Iluminación artificial

Descripción general y objetivo

La iluminación artificial degrada el hábitat de caza en las inmediaciones de las carreteras y puede causar que los murciélagos abandonen los refugios cercanos. Algunas especies muestran una fuerte tendencia a evitar la iluminación artificial. Los efectos de la luz también pueden variar con la intensidad de la luz y el contenido espectral. En particular, las especies adaptadas a volar a baja altura en zonas cerradas son las más sensibles a la iluminación. La iluminación de las calles probablemente incrementa el efecto barrera que de por sí producen los caminos para estas especies. Las especies que vuelan alto y rápido parecen ser menos sensibles a la luz y explotan a menudo las agregaciones de insectos alrededor de las farolas. Este comportamiento puede aumentar el riesgo de colisiones con vehículos. Tanto las luces tradicionales de sodio de alta presión como las luces LED blancas repelen las especies sensibles a la luz, incluso a baja intensidad.

Se han testado varios métodos para la gestión de la iluminación artificial para mitigar los impactos negativos de las carreteras sobre los murciélagos: disuasión con luz, modificación del espectro lumínico de la iluminación pública, reducción de la intensidad y amplitud para evitar iluminar el entorno, e implantar sistemas de iluminación dinámica y alumbrado público a tiempo parcial. Generalmente, la mayoría de estas intervenciones deberían ser beneficiosas para los murciélagos, pero existe poca documentación sobre su efectividad. Si se emplean, estas medidas deben ser monitorizadas para evaluar su potencialidad como medidas de mitigación de murciélagos. En general, ninguna luz es mejor que cualquiera de las soluciones presentadas para reducir la perturbación de la luz.

Disuasión por iluminación

Fuertes luces blancas instaladas en los bordes de las carreteras han sido empleadas en un intento de disuadir a los murciélagos de los sitios de cruce peligrosos y dirigir éstos hacia un lugar de cruce más seguro. Sin embargo, la efectividad de este tipo de intervención no ha sido documentada. Si se planea la disuasión por iluminación, debe considerarse como una instalación experimental y cuidadosamente monitorizada. De instalar luces disuasivas, es necesario considerar y vigilar el potencial aumento colateral de efecto barrera.

La colocación de farolas en las secciones de carretera cercanos a los pasos más grandes de fauna podrían incrementar el uso de los pasos, pues éstos se presentarían como corredores oscuros que permiten cruzar un vía iluminada. Sin embargo, es crucial que las farolas no iluminen los pasos de fauna.

- La disuasión con iluminación artificial es más probable que sea exitosa para los murciélagos más fotosensibles.
- Debe vigilarse cuidadosamente el efecto secundario de la iluminación artificial en otras especies, en particular el posible aumento del riesgo de mortalidad de las especies que se alimentan de insectos cerca del alumbrado público.

Adaptación del espectro de luz

La iluminación LED de banda estrecha de color ámbar parece ser menos visible para los murciélagos y por lo tanto más tolerable que la iluminación tradicional de banda ancha o LED blanco. La iluminación con un espectro de luz de banda estrecha en color ámbar puede reducir el impacto de la contaminación lumínica en el entorno y el efecto barrera de la sección iluminada de la carretera (Fig. 10). Sin embargo, todavía no se ha evaluado hasta qué punto esta intervención tiene un efecto positivo en los pasos de fauna y los hábitats que rodean las secciones de carretera iluminadas por este tipo de luz.

Los insectos son atraídos por las luces con un fuerte componente ultravioleta (UV). Las agregaciones de insectos alrededor de las farolas pueden atraer a algunas especies de murciélagos para cazar cerca de las carreteras poniéndolas en riesgo de colisión. Las farolas con un componente UV bajo o filtros UV podrían reducir el riesgo de mortalidad de los murciélagos. No se ha documentado la eficacia potencial de estas adaptaciones del contenido espectral de la iluminación sobre el riesgo de mortalidad de murciélagos.



Figura 10 - El alumbrado de color ámbar puede minimizar la perturbación lumínica de la trayectoria de vuelo de un murciélago. Por otra parte, las luces de este camino en los Países Bajos sólo se encienden cuando hay una bicicleta o un peatón en la carretera (Foto V. Loehr).

Minimizar la contaminación lumínica

La iluminación indirecta en el entorno de las carreteras degrada la calidad de los hábitats de los murciélagos. La necesidad de iluminar cerca de las trayectorias de vuelo y hábitats de caza importantes para murciélagos debe ser considerada cuidadosamente. La implementación de estrategias de iluminación que pretenden restringir la perturbación de la

luz en potenciales zonas de paso y hábitats de caza de los murciélagos sería directamente beneficioso para los murciélagos sensibles a la luz.

Un método sencillo para reducir la contaminación lumínica de las carreteras en las que es necesario alumbrar los carriles es reducir la intensidad de la luz o dirigir la luz hacia abajo, únicamente a la superficie de la carretera (Fig. 11). La gestión del período con iluminación artificial es también una opción para reducir la perturbación de la luz de los murciélagos. Los sistemas de iluminación dinámica controlados por sensores de movimiento pueden restringir la perturbación de la luz a los períodos en que hay tráfico en la carretera.

También se ha propuesto un alumbramiento a tiempo parcial durante la noche como una opción de gestión para mitigar el impacto de la carretera en los murciélagos. Para ser eficaces, los esquemas de iluminación a tiempo parcial deben mantener condiciones oscuras durante los períodos de actividad máxima de los murciélagos, es decir, al atardecer y las primeras horas de la noche y antes del amanecer.

La gestión de la iluminación en los pasos superiores y inferiores de uso conjunto es importante para su uso como estructuras de cruce seguras para los murciélagos. Preferiblemente, las estructuras deben estar a oscuras, pero si la iluminación es necesaria por razones de seguridad de tráfico, como en túneles para peatones y ciclistas, el área iluminada debe ser restringida para crear un pasillo oscuro en un lado a través del paso. Esto podría lograrse con iluminación direccional o campanas, o luces instaladas en postes cortos o integradas en los pasamanos. El curso de agua en los conductos de drenaje multifuncionales y bajo los puentes de los ríos debe quedar siempre protegido del alumbrado público.



Figura 11 - La iluminación en este puente para bicicletas en los Países Bajos se ha instalado en la barandilla para reducir la iluminación del entorno y mantener una zona oscura a lo largo del puente para animar a los murciélagos a utilizarlo como un paso elevado seguro (Foto V. Loehr).

5.2 Ruido

Descripción general y objetivo

El ruido del tráfico reduce la eficiencia de caza de los murciélagos. Por lo tanto, la perturbación del ruido degrada la calidad del hábitat en el entorno de las carreteras y puede intensificar el efecto barrera. Al descansar e hibernar los murciélagos también parecen ser sensibles a las perturbaciones de ruido. El ruido fuerte parece actuar como un estímulo general aversivo que causa una respuesta negativa por los murciélagos. Por lo tanto, el ruido puede ser utilizado para disuadir a los murciélagos de cruzar carreteras en sitios inseguros en general, o cuando los vehículos están presentes en la sección de la carretera. La reducción del ruido cerca de hábitats y refugios importantes de murciélagos y sistemas de alerta audible para reducir la mortandad podrían ser aplicados para mitigar los impactos de las carreteras en los murciélagos.

Minimizar la contaminación acústica

La reducción de la contaminación acústica podría lograrse con un pavimento de reducción de ruido o barreras de ruido. Estas medidas podrían considerarse cerca de importantes hábitats de caza y refugios de murciélagos y zonas cercanas a pasos de fauna para mejorar su efectividad para los murciélagos.

Las barreras instaladas en las secciones de carreteras sobre pasos inferiores pueden reducir simultáneamente el ruido y la perturbación lumínica de los murciélagos en el acceso hacia los pasos y obligar a una parte de los murciélagos que intentan cruzar la carretera a hacerlo por encima de la altura del tráfico. La reducción del ruido es una intervención relativa de bajo coste que mitiga de forma intuitiva el impacto del ruido del tráfico en los murciélagos, aunque su eficacia no ha sido evaluada.

Disuasión del ruido

El comportamiento de los murciélagos de evitar ruidos sónicos y ultrasónicos ha sido explotado para alertar y disuadir los murciélagos a cruzar la carretera al acercarse un vehículo. Se ha probado un sistema de alarma audible experimental que comprende secciones cortas de asfalto que generan ruido casi ultrasónico cuando pasa un vehículo (Fig. 12). Las características a tomar en cuenta al diseñar un sistema acústico incluyen la longitud del tramo que emite ultrasonidos, la distancia entre estos tramos y las zonas de cruce de los murciélagos, y la velocidad de los vehículos. Éstos determinan el tiempo previsto para los murciélagos para evitar el peligro que se aproxima. Si es efectivo, el sistema de alarma acústica podría instalarse en carreteras de llanuras donde la topografía no es adecuada para pasos subterráneos o pasos superiores, o en tramos de carretera sin rutas de desplazamiento definidas, así como en carreteras que discurren por bosques o hábitats muy abiertos.

El sistema sólo disuade a los murciélagos cuando el riesgo de colisión es inminente, es decir, el efecto barrera es mínimo. Sin embargo, el ruido casi ultrasónico y los ultrasonidos se atenúan rápidamente, lo que puede limitar la eficacia y aplicabilidad del sistema de ultrasonidos en carreteras de alta velocidad. Las variaciones del comportamiento de elusión entre especies, el efecto de la velocidad del vehículo y la habituación a los estímulos de ruido se deben estudiar más a fondo para determinar el potencial disuasorio del ruido para los murciélagos.



Figura 12 - Un sistema de alarma acústica instalado en un sitio con un alto número de cruces de murciélagos en un tramo de carretera de 37m de largo en la carretera regional RD530 en Francia. Cuando los coches pasan sobre tramos de asfalto poroso especial (tramo bajo el coche azul en la imagen) se genera un sonido de alta frecuencia para avisar a los murciélagos (Foto M. Elmeros).

5.3 Reducción de la velocidad

Descripción general y objetivo

La velocidad de los vehículos está correlacionada positivamente con el riesgo de colisión en el caso de muchos vertebrados. Los límites de velocidad y muertes de murciélagos publicados también parecen estar correlacionados negativamente, pero no se conoce la efectividad de las reducciones de velocidad en la mortalidad de murciélagos en las carreteras. La reducción de la velocidad podría ser un método sencillo para reducir el riesgo de mortalidad de los murciélagos.

La reducción de la velocidad probablemente reduciría las tasas de mortalidad de la mayoría de las especies de murciélagos, aunque el rango específico de ecolocalización podría ser un parámetro que cause variabilidad entre especies en la efectividad de la medida. La reducción de velocidad se puede implementar en carreteras construidas al mismo nivel que el terreno circundante y en secciones de carreteras sin características de paisaje distintivas y donde los pasos de murciélagos se producen a lo largo de tramos de carretera más largos, así como en áreas forestales y zonas abiertas. Los límites de velocidad reducidos podrían limitarse a las horas desde la puesta de sol hasta el amanecer, lo que no reduce excesivamente la funcionalidad de la carretera para los conductores. El límite de velocidad podría reducirse localmente en una sección de carretera. Otros métodos incluirían la instalación de estructuras físicas que calman el tráfico, como bandas rugosas, pasos sobreelevados, chicanes o rotondas.

5.4 Desviación y orientación

Descripción general y objetivo

Muchas especies de murciélagos se orientan usando elementos de paisaje lineales y longitudinales como setos, arboledas, ríos o arroyos, muros de piedra y bordes de bosques cuando viajan entre hábitats. Las especies de bosque y otros pequeños generalistas de vuelo bajo y medio son más dependientes de tales características que las especies de vuelo alto más grandes. La tendencia a utilizar características de paisaje específicas como estructuras de guía podría ser utilizada para conducir a los murciélagos hacia lugares seguros de cruce (Fig. 13). Los setos y las líneas de árboles plantados entre los pasos de fauna y las rutas y los hábitats existentes en los trayectos de desplazamiento pueden crear un efecto embudo y aumentar la eficacia de los pasos.



Figura 13 - La plantación de setos y arboledas enlaza los hábitats de murciélagos existentes y las rutas de vuelo a los lugares seguros de cruce. La vegetación tarda años en madurar y debe plantarse lo más pronto posible en la fase de construcción. Las ilustraciones muestran un corredor establecido como una medida de mitigación para los murciélagos 1 año y 7 años después de la ejecución (Fotos NACHTaktiv & SWILD).

Consideraciones de importancia

Los setos, las arboledas y las pantallas barrera sirven como guías de vuelo para muchas especies de murciélagos. La plantación o construcción de estos elementos de orientación podría desviar a los murciélagos de las zonas de cruce no acomodadas.

- Es más probable que los setos, las arboledas y las pantallas barrera sean eficaces como guía para las especies de vuelo dentro y cerca de la vegetación que se desplazan a baja y media altura y sólo hasta cierto punto para especies menos maniobrables de vuelo alto.
- Los setos o barreras destinadas a guiar a los murciélagos deben estar bien conectadas con las rutas de vuelo existentes y los pasos de fauna.
- La vegetación puede necesitar muchos años para madurar en estructuras de guía eficaces y los murciélagos deben habituarse a nuevas rutas de desplazamiento. En consecuencia, la vegetación debe plantarse lo más pronto posible. Se recomienda plantar árboles de 3-4 m de altura y especies nativas de rápido crecimiento (Fig.14).
- Los setos y las arboledas pueden complementarse con pantallas cuando estén plantadas recién y así aumentar su funcionalidad como elementos de orientación.

- Las pantallas destinadas a evitar que los murciélagos crucen las vías deben tener un mínimo de 4 a 5 m de altura para aumentar la probabilidad de disuadir los murciélagos a cruzar la valla y obligar a los murciélagos a volar por encima de la altura del tráfico (Fig. 15).
- Preferentemente, las pantallas deben conducir a puntos de cruce seguros en ambos lados. Si ésto no es posible, la actividad de los murciélagos debe ser cuidadosamente monitorizada donde termina la pantalla.



Figura 14 - La vegetación destinada a funcionar como estructura de guía para los murciélagos debe plantarse lo más pronto posible en la fase de construcción. Transplantar árboles grandes puede agilizar el desarrollo de la estructura guía (Foto Udo Tegethof).



Figura 15 - Se necesitan vallas altas para guiar a los murciélagos con seguridad a través de la carretera por encima de la altura del tráfico. Las vallas de la fotografía están instaladas cerca de pasos inferiores en la carretera estatal S170n en Alemania (Foto SWILD & NACHTaktiv).

6 Mitigación ecológica

Los impactos negativos sobre los murciélagos y sus hábitats a veces no pueden ser evitados o mitigados a pesar de la planificación preventiva. La mitigación o compensación ecológica se implementa entonces para equilibrar el impacto en el paisaje a escala poblacional. La mejora general del hábitat y las condiciones de refugios pueden reemplazar los hábitats destruidos y degradados y los lugares refugio. La mitigación ecológica también puede mejorar la resiliencia general de las poblaciones de murciélagos a los impactos en las carreteras, p.e. la mortalidad por tráfico y la fragmentación del paisaje.

6.1 Gestión de los refugios

El desarrollo de carreteras a menudo conlleva la destrucción de árboles y edificios utilizados por murciélagos como refugio. La destrucción de refugios de cría e hibernación puede representar una amenaza para las poblaciones locales de murciélagos. La mayoría de los murciélagos muestran alta fidelidad a los refugios con condiciones microclimáticas adecuadas. Estas condiciones pueden ser difíciles de recrear en refugios alternativos, y pueden pasar años hasta que los murciélagos se trasladen a los nuevos refugios.

Las acciones para proporcionar un nuevo alojamiento a los murciélagos o mejorar los refugios existentes para compensar las pérdidas de refugio y la degradación del hábitat incluyen: cajas de murciélagos, construcción o modificaciones de edificios, puentes y refugios subterráneos, translocación de troncos con cavidades o huecos, y mantenimiento de árboles (Fig. 16). Estas acciones de conservación de refugios son potencialmente beneficiosas para los murciélagos como acciones compensatorias a largo plazo. Sin embargo, se desconoce su efectividad y la escala de las intervenciones necesarias para compensar el impacto de las pérdidas de refugio y la degradación del hábitat, y los métodos para estimar estos factores. Se recomienda aplicar el principio de precaución.



Figura 16 - La translocación de troncos de árboles con refugios o cavidades puede funcionar mejor que las cajas de murciélagos. La protección de los árboles grandes en los bosques cercanos a las infraestructuras de transporte puede garantizar la disponibilidad de refugios y compensar la destrucción de árboles con refugios potenciales durante la construcción de carreteras o vías férreas (Fotografías de H.J. Baagøe y M. Elmeros).

Cajas para murciélagos

Las cajas de murciélagos han sido ampliamente utilizadas como intervención de conservación y para propósitos de investigación y monitoreo. La instalación de cajas de murciélagos en árboles y edificios se utiliza a menudo como un método rápido y de bajo costo para proporcionar refugios alternativos allá donde se han eliminado árboles y otras estructuras. Hay una gran variedad de modelos diferentes, pero las revisiones realizadas demuestran que todos los tipos de caja se utilizan sobre todo como refugio temporal y rara vez como refugio de cría o hibernación. Hay ejemplos de colonias de cría en cajas en bosques, pero normalmente se requieren varios años antes de que las cajas se usen para tal fin. Las tasas de ocupación de cajas de murciélagos están correlacionadas con la distancia a las principales carreteras.

Consideraciones de importancia

Dadas las bajas tasas de ocupación que las cajas de murciélagos presentan en general y la incertidumbre de que se usen como refugios de cría e hibernación, éstas no se pueden recomendar como medidas de mitigación ecológica para reemplazar los refugios destruidos.

- Si se instalan cajas de murciélagos, siempre se deben monitorear para determinar si logran su propósito.
- Las cajas de murciélagos deben instalarse con suficiente antelación a la eliminación de los posibles refugios.
- Las cajas de murciélagos pueden necesitar inspección anual para eliminar los nidos de pájaros o avispas, y para limpiar las heces de murciélagos.
- Las cajas de murciélagos de madera suelen necesitar ser reemplazadas en intervalos de 3-5 años.

- Si se instalan cerca de infraestructuras, p. e. en contrafuertes de puentes, las cajas de murciélagos se deben instalar de modo que el riesgo de colisión de vehículos sea mínimo.

Translocación de troncos de árbol

Se ha probado la translocación de troncos de árboles con refugios de murciélagos como método para mantener los refugios cuando los árboles tienen que ser eliminados durante las construcciones de carreteras. La reubicación de troncos con refugios y refugios potenciales es preferible a las cajas de murciélagos porque los murciélagos pueden reconocer y encontrar el punto de acceso al refugio más fácilmente, y el microclima dentro de la cavidad es probablemente más estable que en las cajas. Los murciélagos tienen una memoria espacial bien desarrollada y fijan las características importantes de su entorno, incluyendo la posición exacta de su refugio.

El árbol se corta muy cuidadosamente, y la sección que contiene la cavidad se restablece en un árbol cercano (Fig. 16). Alternativamente, se traslada todo el tronco, y su base se entierra en el suelo, pero este puede probablemente acelerar la descomposición y acortar la "vida" o duración del tronco considerablemente. El tronco del árbol se irá secando gradualmente después de su reubicación, dando lugar a grietas en el tronco que pueden exponer la cavidad refugio.

Consideraciones de importancia

- El tronco del árbol reubicado debe ser reinstalado en el árbol adecuado más cercano.
- El tronco reubicado debe colocarse de modo que el punto de acceso tenga la misma altura y orientación que el original.
- Protecciones de goma entre las bandas de sujeción y los troncos pueden reducir el impacto sobre el árbol vivo.
- Si los murciélagos están presentes en el refugio en el momento de la translocación, los orificios de salida deben ser bloqueados temporalmente y el tronco debe mantenerse vertical durante todo el procedimiento.
- La reproducción de llamadas sociales de murciélagos puede servir de reclamo hacia los refugios traslocados y, por lo tanto, contribuir a una ocupación más rápida de los mismos, especialmente para especies que utilizan la escucha para localizar nuevos refugios potenciales (por ejemplo los nóctulos).

Edificios con murciélagos, puentes y espacios subterráneos

Muchas especies de murciélagos pueden refugiarse en edificios, puentes y espacios subterráneos artificiales, p. e. túneles y antiguas bodegas. La construcción de nuevas estructuras y la mejora de los refugios existentes pueden sustituir a los refugios destruidos y, potencialmente, aumentar el tamaño de la población y su resiliencia a los efectos negativos de las carreteras. El manejo cuidadoso de las condiciones microclimáticas internas (temperatura y humedad) y de las rutas de acceso (por ejemplo, reduciendo el riesgo de depredación y la perturbación por luz) pueden mejorar con éxito la calidad del refugio y aumentar el tamaño de las colonias de cría.

Se sabe que los puentes son estructuras importantes para muchas especies de murciélagos. Un pequeño número de murciélagos se refugian en grietas en puentes viejos y modernos. En las vigas, columnas y pilares de grandes puentes se instalan a veces grandes colonias de cría e hibernáculos. Los puentes se han mantenido con éxito para preservar y mejorar sus condiciones de refugio. Los refugios podrían integrarse en el diseño de nuevos

puentes cerca de hábitats importantes de murciélagos. Al realizar los movimientos de tierra de puentes y pasos elevados para vida silvestre podrían construirse también cámaras subterráneas y túneles para su uso como hibernáculos artificiales. La presencia de refugios de murciélagos debe ser tenida en cuenta al arreglar/reformar puentes.

La preservación y renovación de las estructuras refugio existentes es ventajosa para las nuevas instalaciones. Las adaptaciones y mejoras de los edificios y puentes existentes pueden tener efectos inmediatos. Alternativamente, los nuevos edificios, puentes y refugios subterráneos construidos específicamente son potencialmente beneficiosos para los murciélagos como acciones de compensación a largo plazo.

Mejora de refugios naturales

La gestión forestal a menudo conduce a la pérdida de refugios arbóreos para los murciélagos, y los árboles grandes y viejos son generalmente raros en el bosque. Se han sugerido medidas para proteger los refugios potenciales en árboles y favorecer el desarrollo de cavidades en árboles maduros como estrategias de manejo a largo plazo para compensar las pérdidas de refugio y la degradación del hábitat durante las construcciones de carreteras. La protección de árboles planifolios o manchas de bosques con el objetivo de mantener una estructura forestal diversa que incluya árboles viejos en descomposición con un alto potencial de cavidades naturales para refugio, puede compensar la destrucción de refugios (Fig. 17).

Las cavidades naturales en los árboles se desarrollan muy lentamente. Hacer hendiduras, taladrar agujeros o agrandar huecos naturales en árboles podría ser útil para favorecer el desarrollo de refugios potenciales. Si el procedimiento es eficaz, podría utilizarse para facilitar el desarrollo de refugios de murciélagos en áreas forestales cercanas. El mantenimiento de árboles y el desarrollo de cavidades podrían ser beneficiosos para los murciélagos como medidas de mitigación a largo plazo, pero su efectividad es aun desconocida. Se desconocen la escala temporal y espacial necesarias para compensar eficazmente la pérdida de refugios.



Figura 17 - La renovación de edificios existentes con refugios de murciélagos puede ser un método eficaz para proteger a las poblaciones de murciélagos cerca de carreteras (Fotos de V. O'Malley).

6.2 Mejora y creación de hábitats

La mejora del hábitat es el único método de compensación para equilibrar los efectos de la destrucción y la degradación de las zonas de alimentación o de la conectividad paisajística

absoluta. Tales medidas de compensación para los murciélagos pueden incluir la mejora o creación de estanques y humedales, la plantación de árboles, setos y bosques, y la expansión de los hábitats de pastizales y la mejora general del uso de la tierra. Los procedimientos de manejo amigables con los murciélagos pueden incluir acciones simples como permitir que las plantas florezcan antes de cortarlas, y plantar arbustos y árboles con flores que atraigan a muchos insectos. Los hábitats mejorados deben estar bien conectados con los hábitats y las rutas de vuelo de murciélagos existentes. Estratégicamente situadas, las mejoras de hábitat puede también reducir el efecto barrera de la carretera.

Las mejoras en el hábitat tienen obviamente un potencial positivo sobre la capacidad de carga de los murciélagos en una zona, pero el efecto de la mejora del hábitat y la escala necesaria para compensar el impacto de las carreteras es desconocido por lo que se recomienda aplicar el principio de precaución. Es poco probable que las acciones de compensación del hábitat sean efectivas a corto o medio plazo. Si los efectos inmediatos de las carreteras sobre las poblaciones de murciélagos no se mitigan adecuadamente, existe el riesgo de que dichas poblaciones resulten disminuidas de forma crítica o extintas antes de que las medidas de compensación a largo plazo sean efectivas.

Las mejoras y creación de nuevos hábitat deben desarrollarse y con suficiente anticipación a la destrucción o degradación de los hábitats originales. El hábitat mejorado y recién creado tardará años en desarrollarse como hábitats de murciélagos de alta calidad donde los murciélagos encuentren nuevas zonas de alimentación o refugio. Es esencial un plan de manejo del paisaje a largo plazo para mantener la calidad de hábitat de los hábitats mejorados o creados a lo largo de toda la vida de la infraestructura. La vigilancia de los hábitats mejorados debe formar parte integrante del sistema de gestión de carreteras, y deberán desarrollarse procedimientos de modificación y mantenimiento si dicha calidad disminuye para las especies objetivo.

7 Conclusión y perspectivas

Se han descrito, recomendado y aplicado una serie de medidas para reducir o compensar los efectos adversos de las infraestructuras de transporte en los murciélagos en toda Europa, y las agencias de carreteras de varios países han publicado directrices para reducir el conflicto entre la conservación de murciélagos y el desarrollo vial en el pasado (por ejemplo, Limpens et al., 2005, Highway Agency 2006, National Road Authority 2006, Møller & Baagøe 2011, Brinkmann et al., 2012, Nowiciki et al., 2016).

Se han observado murciélagos utilizando la mayoría de las estructuras instaladas según lo previsto, pero la eficacia de las intervenciones sólo se ha estudiado a fondo para algunos tipos. La mayoría de las medidas aconsejadas actualmente muestran algún potencial para reducir el impacto de las carreteras y el tráfico en los murciélagos, pero su eficacia no ha sido documentada. Como consecuencia de las limitadas evidencias de eficacia para la mayoría de las medidas, y de las deficiencias documentadas en algunas de ellas, muchas de las estrategias de mitigación actualmente recomendadas para los murciélagos en las carreteras pueden no ser eficaces. La mayoría de las medidas de mitigación para los murciélagos deben ser consideradas como intervenciones experimentales, y deben monitorerse a fondo para determinar su efectividad. La evaluación y las recomendaciones para cada tipo de mitigación, basadas en una profunda revisión bibliográfica sobre resultados de efectividad, se resumen en la Tabla 2 (Berthinussen et al., 2013, Møller et al., 2016).

Las poblaciones de murciélagos son muy sensibles al aumento de las tasas de mortalidad, los cambios en el hábitat y la fragmentación por las infraestructuras viarias. Para mejorar la eficacia de las estrategias de mitigación para los murciélagos, es esencial que se realicen mejores estudios previos y posteriores a la construcción, y estudios científicos más sólidos sobre la eficacia de las estrategias de mitigación, tanto a nivel local como de paisaje.

La compleja biología de los murciélagos, las diferencias específicas de las especies en cuanto al comportamiento del vuelo y uso del hábitat, y las variaciones temporales en el uso del hábitat desde la primavera hasta el otoño, son factores importantes a considerar al monitorear y planificar estrategias de mitigación. Por lo tanto, es esencial un conocimiento detallado de la presencia de especies de murciélagos y su uso de hábitat en un área afectada por un proyecto viario, así como en los hábitats adyacentes a lo largo del corredor de carretera proyectado, para que los responsables de desarrollar dicho proyecto tomen decisiones sobre la estrategia de mitigación óptima con una información apropiada.

Estudios en profundidad previos a la construcción son cruciales para detectar todas las especies de murciélagos presentes en una zona, incluidas las especies raras y las especies menos detectables por sus emisiones de ecolocalización. Como norma general se recomienda seguir el principio de precaución cuando se desarrollan proyectos viales y planes de mitigación para los murciélagos, particularmente en áreas con especies amenazadas o raras, y especies con distribución irregular.

Tabla 2 - Evaluación provisional de las medidas y su posible efectividad para mitigar los impactos de las carreteras en los murciélagos, distinguiendo las especies de vuelo dentro o cercano a la vegetación y superficies, y especies voladoras de espacios abiertos (ver Tabla 1).

1 / Intervención recomendable si se sitúa y construye correctamente. Evidencia contrastada de uso de la estructura o que el método es efectivo.

2 / Intervención potencialmente eficaz con resultados alentadores. Se requieren más estudios para documentar la eficacia o para testar nuevos desarrollos de la medida.

3 / Intervención donde se necesita más investigación para evaluar su potencial. Los estudios indican cierto uso y efectividad para algunas especies.

4 / Intervención que resultó ineficaz o ha mostrado resultados muy ambiguos, o no puede ser utilizada como un método de compensación. No es recomendable.

Método de mitigación	Evaluación		Notas	
	Dentro o cerca de la veg. y sup.	Vuelo al aire libre		
<u>Pasos de fauna</u>				
Pasos superiores de fauna	1	1		
Puentes adaptados	Pantallas de vegetación	1		
	Paneles	3	no dispn	
Guías de vuelo	Estructuras abiertas	4	4	
	Estructuras cerradas	3	3	
Pantallas de elevación de vuelo	3	3*	Depende de la especie	
Viaductos & Puentes fluviales	1	2	Depende de la altura	
Tuneles & drenajes adaptados	2**	4		
<u>Otras intervenciones</u>				
Setos & líneas de árboles	2	3		
Barreras	2	3		
Iluminación artificial	Disuasión	3	3	Depende de la especie
	Adaptation del espectro	3	3	
	Reducción de emisión	2	2	
Alertas sonoras	3	3	Depende de la especie	
Reducción de velocidad	3	3		
<u>Mitigación ecológica</u>				
Cajas de murciélagos	4	4		
Edificaciones con murciélagos	2	2	Tasas de éxito muy variables	
Reubicación de troncos	3	3	Depende de la especie	
Agujeros artificiales en árboles	3	3	Validez potencial solo a largo plazo	
Retención de árboles	2	2	Validez potencial solo a largo plazo	
Mejoras de hábitat	2	2		

* Sobre puentes y carreteras poco elevadas o sobre terraplenes encima de túneles y drenajes. ** La eficacia depende también del tamaño en especies de vuelo bajo.

8 Agradecimientos

Esta guía ha sido producida como parte del Programa Transnacional sobre Investigación Vial del CEDR: Carreteras y Vida Silvestre. Agradecemos la financiación recibida desde las autoridades viarias de Austria, Dinamarca, Alemania, Irlanda, Noruega, Suecia, Países Bajos y Reino Unido. Agradecemos igualmente a investigadores sobre murciélagos, consultores y autoridades sobre transporte viario de toda Europa por las contribuciones y aportaciones realizadas.

9 Referencias

Abbott I, Melber M, Altringham J, Berthinussen A, Boonman M & Stone E 2015. Bats and roads. - In: van der Ree R, Smidt DJ & Grilo C (eds.). Handbook of road ecology. Wiley Blackwell, pp. 290-299.

Berthinussen A, Richadson OC & Altringham J 2013. Bat Conservation. Global evidence for the effects of interventions. - Synopses of Conservation Evidence, Volume 5.

Berthinussen A & Altringham J 2015. Development of a cost-effective method for monitoring the effectiveness of mitigation for bats crossing linear transport infrastructures. - DEFRA Research Project WC1060.

Brinkmann R, Biedermann M, Bontadina F, Dietz M, Hintemann G, Karst I, Schmidt C, Schorcht W 2012. Planung und Gestaltung von Querungshilfen für Fledermäuse – Eine Arbeitshilfe für Straßenbauvorhaben im Freistaat Sachsen. - Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Freistaat Sachsen, Dresden.

Highways Agency 2006. Best practice in enhancement of highway design for bats. - Highways Agency and Bat Conservation Trust, London.

Iuell B, Bekker GJ, Cuperus R, Dufek J, Fry G, Hicks C, Hlaváč V, Keller VB, Rosell C, Sangwine T, Tørsløv N, Wandall B (Eds.) 2003. Wildlife and traffic: A European handbook for identifying conflicts and designing solutions. - Brussel.

Limpens HJGA, Twisk P & Veenbaas G 2005. Bats and road construction. - Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft & Vereniging voor Zoogdierkunde en Zoogdierbescherming, Arnhem, the Netherlands.

Møller JD & Baagøe HJ 2011 Flagermus og større veje. Registrering af flagermus og vurdering af afværgeforanstaltninger. - Vejdirektoratet, Copenhagen, Denmark.

Møller JD, Dekker J, Baagøe HJ, Garin I, Alberdi A, Christensen M & Elmeros M 2016. Effectiveness of mitigating measures for bats - a review. SafeBatPaths Technical report. - Conference of European Directors of Roads (CEDR), Brussels.

National Roads Authority 2006. Best practice guidelines for the conservation of bats in the planning of national road schemes. - Technical handbook, National Road Authority, Dublin, Ireland.

Nowicki F, Authur L, Dorey J, Ruel V & Rousselle K 2016. Guide méthodologique. Chiroptères et infrastructures de transport. - Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEDEMA).