

Ingeniería Civil

NÚM. 176/2014

ISSN: 0213-8468





COMITÉ DE REDACCIÓN

Presidente

Miguel González-Portal

Vocales

Enrique Dapena García

Victor Elviro García

Antonio Lechuga Alvaro

Pablo Mira McWilliams

M^a Ángeles de Pablo Sanmartín

Francisco Javier Sainz de Cueto Torres

Francisco Sinis Fernández

Jaime Tamarit Rodríguez de Huici

Comisión Asesora

Antonia Berjaga Peralta

Fernando Magdaleno Mas

Cristina de Santiago Buey

Secretaría

Ana García Neri

Olga Sánchez de la Torre

Alejandro David Martos Rodríguez

REDACCIÓN

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Alfonso XII, 3 - 28014 Madrid

Tel.: 913 35 72 69 - Fax: 913 35 72 49

e-mail: ingcivil@cedex.es

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) no se hace responsable de las opiniones, teorías o datos publicados en los artículos de Ingeniería Civil, siendo ello responsabilidad exclusiva de sus autores.

COLABORACIONES

Javier Plasencia

COORDINACIÓN DE PUBLICIDAD

Daniel Casajús Ibáñez

PUBLICIDAD

Avenida de España, 3

Tel.: (+34) 606 30 26 91 - Fax: 916 636 762

e-mail: daniel.casajus@cloudbridge.es

PRECIO DE ESTE EJEMPLAR: 12,25€

I.S.S.N.: 0213-8468 - N.I.P.O.: 163-14-001-9

Depósito Legal: M-28150-1971

NUESTRA PORTADA: Pruebas del proyecto UNDIGEN en el Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria (LIF) y puesta en marcha en alta mar en Gran Canaria.



Sumario

Desarrollo de un proyecto para la conversión directa de la energía del oleaje en energía eléctrica

Development of a project for direct conversion of wave energy into electricity
M. Lafoz, M. Blanco, P. Moreno-Torres, G. Navarro, C. Vázquez y L. García-Tabarés

5

Caracterización ambiental del árido derivado de escoria de acería de horno eléctrico para su empleo en capas de subbalasto

Environmental characterization of aggregate from electric arc furnace slag as sub-ballast layer material

Alicia Moral, Jesús Hervás, Marilda Barra y Antonio Ruiz-Mateo

13

Sistema de drenaje con geocompuesto triplanar del depósito para la eliminación de la contaminación química en el embalse de Flix

Drainage system with triplanar geocomposite in the landfill for the remediation of the chemical contamination in Flix's reservoir

Jorge Gutiérrez, Joaquim Castelo y ACUAMED

27

La calidad en las auscultaciones de características superficiales de los firmes: Evaluación de la conformidad

Road pavement surface characteristics: Conformity assessment

Sixto Yanguas, Emilio Rodríguez-Rebollo y Laura Parra

35

Efecto de la tipología de las estructuras transversales de paso sobre el uso por la fauna en diferentes tramos de carreteras y líneas de ferrocarril de alta velocidad en España

Effect of the type of crossing structures on the use by fauna in different stretches of roads and high speed railway lines in Spain

Manuel Ramón García Sánchez-Colomer, Antonio Vladimir García García, Esther Juárez Sanz y Tíscar Espigares Pinilla

49

Los geosistemas en la ingeniería de costas, ¿existe un diseño fiable en la actualidad?

Geosystems in coastal engineering, are they an alternative for conventional defenses and systems?

Ana Antón Camacho, José Manuel de la Peña Olivas,

Antonio Lechuga Alvaro y José Luis Almazán Gárate

57

El último gran acueducto de Roma: Aqua Alexandrina (siguiendo los pasos de Fabretti y Ashby)

The last great aqueduct of Rome: Aqua Alexandrina (following the footsteps of Fabretti and Ashby)

José M. de la Peña Olivas

65

Comparación entre las propiedades de los RCDs y las de los suelos seleccionados

A comparison between the properties of CDW and selected aggregates

J.L. Justo, P. Durand, J.D. Bauzá, L. Luque, M. Vázquez, V. Garrido,

E. Ruiz y E. Justo

75

Identificación de los suelos dispersivos y colapsables del valle del río Verde, en Rioverde S. L. P., México

Identification of collapsible and dispersive soils of Green river valley, in Rioverde S. L. P., Mexico

Gustavo Gallegos Fonseca, Christian Michel Cuello,

Milka Escalera Chávez y Julio Cesar Leal Vaca

85

El aporte del refuerzo comprimido en secciones a flexo-compresión. Métodos aproximados

The contribution of compression reinforcement in sections with flexure and axial load. Approximates methods

Juan José Hernández Santana

97

Eugenio Ribera: un puente desconocido en Aldea del Fresno (Madrid)

Eugenio Ribera: an undiscovered bridge in Aldea del Fresno (Madrid)

Javier Parrondo Rodríguez

107

Instalaciones singulares del CEDEX

Plataforma autoportante para inspección de puentes

119

En la página 130 y en nuestra web <http://www.cedex.es> encontrará las normas para la publicación de artículos.

Efecto de la tipología de las estructuras transversales de paso sobre el uso por la fauna en diferentes tramos de carreteras y líneas de ferrocarril de alta velocidad en España

Effect of the type of crossing structures on the use by fauna in different stretches of roads and high speed railway lines in Spain

Manuel Ramón García Sánchez-Colomer^{1*}, Antonio Vladimir García García¹, Esther Juárez Sanz¹ y Tíscar Espigares Pinilla²

Palabras clave

conectividad;
paso de fauna;
integración ambiental;
carretera;
línea de alta velocidad;

Sumario

El objetivo de los pasos para fauna en las infraestructuras lineales de transporte es mantener la conectividad en el territorio. Sin embargo, los animales no utilizan estas estructuras transversales aleatoriamente, sino que muestran algunas preferencias que guardan relación con el tipo y el diseño de las mismas y también con el medio donde se ubican. A partir del análisis de las frecuencias medias de paso en 270 estructuras de cruce de diferentes tipologías, hemos comprobado cómo las utilizan seis especies de amplia distribución en nuestro territorio peninsular: ciervo, corzo, jabalí, zorro, tejón y garduña. Se han revisado siete tipos de estructuras: pasos superiores específicos y multifuncionales, pasos inferiores específicos y multifuncionales, drenajes circulares y drenajes tipo marco de 2 x 2 m y superiores.

Los pasos específicos son mucho más utilizados que las restantes estructuras transversales, en promedio dos veces más que los pasos inferiores multifuncionales, los drenajes en marco de 2 m x 2 m y mayores y, también en promedio, hasta 4 veces más que los drenajes circulares y los pasos superiores multifuncionales. Las diferentes especies analizadas también muestran preferencias por distintas estructuras de paso. Salvo para la garduña y el tejón, que utilizan preferentemente los drenajes tipo marco de 2 m x 2 m, el resto de las especies muestra preferencia por los pasos de tipo específico.

Los resultados de este tipo de estudios son aplicables de cara a la selección de las estructuras de paso según las especies objetivo que se pretende que utilicen los pasos y también dependiendo de la sensibilidad del hábitat (zonas protegidas, corredores de fauna, etc.).

Keywords

connectivity;
wildlife crossing structures;
environment integration;
road;
high speed railway;

Abstract

Crossing structures for wildlife in the linear ways of transport aim at maintaining connectivity in the territory. However, animals do not use these cross-cutting structures randomly, but show some preferences related to their type, layout and the habitat where they are located. We have analysed the use of 270 crossing structures by six very common species in Spain: deer, roe deer, wild boar, fox, badger and beech marten. Seven different types of crossing structures are considered in our study: specific and multifunctional overpasses, specific and multifunctional underpasses, circular drainages and frame type drainages of 2x2 m and bigger.

Specific crossing structures are much more used than the remaining cross-cutting structures, on average twice more than the multifunctional underpasses, than the drains in frame 2 m x 2 m or bigger. Also, on average they are up to 4 times more frequently used than the circular drainages and multifunctional overpasses. The different species analysed also show preferences for different crossing structures. Except for marten and badger, that preferably used 2 m x 2 m frame type drains, the rest of the species showed preference for specific crossing structures.

The results of this kind of studies have many applications to the selection of crossing structures in relation to the target species and also according to the sensitivity of the habitat (protected areas, wildlife corridors, etc.).

1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo perseguido por los técnicos ambientales cuando proponen el diseño de determinadas

estructuras transversales en las nuevas carreteras y líneas de ferrocarril es mantener la conectividad en el territorio, es decir, permitir que la fauna pueda atravesar la infraestructura de transporte sin riesgos, tanto en sus desplazamientos diarios (en busca de alimento, cobijo, agua, etc.) como estacionales (migraciones, etc.). Podemos pensar, entonces, que cuantas más estructuras se añadan y mayores sean éstas, mejor cumpliremos con dicho objetivo. Sin embargo, las limitaciones técnicas, administrativas o en los presupuestos destinados para la construcción de las

* Corresponding author: manuel.colomer@cedex.es

¹ Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX, Madrid, España.

² Departamento de Ciencias de la Vida - Unidad Docente de Ecología. Universidad de Alcalá, Madrid, España.

infraestructuras y un simple análisis coste-beneficio nos ayudará a optimizar, no sólo el número, sino también la localización y el diseño de los pasos.

Por otra parte, fallos en la localización, en las dimensiones o en la elección del tipo de paso pueden malograr las inversiones destinadas a reducir el efecto barrera de estas infraestructuras de transporte o poner en riesgo la viabilidad de ciertas poblaciones de animales salvajes aisladas entre sí. Y es que las diferentes especies de animales no usan aleatoriamente las estructuras transversales a las vías de transporte sino que muestran algunas preferencias.

Son numerosos los estudios que analizan las condiciones que favorecen estas actividades de cruce de la fauna. En ellos se establecen modelos a partir de características estructurales de los pasos, atributos relacionados con la carretera o la vía de ferrocarril, las características del hábitat adyacente y los niveles de alteración humana. No obstante, el diseño de los pasos suele predominar sobre otras propiedades (localización, estacionalidad, etc.) en la selección por la fauna.

Estas relaciones están bien documentadas en ámbitos geográficos y faunísticos muy diferentes, como Norteamérica (Clevenger *et al.* 2001, Dodd *et al.* 2004, Ng *et al.* 2004, Clevenger y Waltho 2005, Gagnon *et al.* 2011, Sparks y Gates 2011, Sparks y Gates 2012, Grandmaison 2012, Smith 2012), Australia (Bond y Jones 2008, Chambers y Bencini 2013) y Europa (Mata *et al.* 2005, 2008 y 2009, Ascensão y Mira 2007, Grilo *et al.* 2008, Klar *et al.* 2009, Gurrutxaga *et al.* 2010, Beben 2012, Juárez *et al.* 2013, Serronha *et al.* 2013). Glista *et al.* (2009) y Van der Grift *et al.* (2013) realizan una extensa revisión bibliográfica en diferentes áreas geográficas.

A pesar de la abundante literatura científica en este campo, la gran mayoría de los estudios se centran en determinados tramos de carreteras (1 ó 2 normalmente), por lo que están planteados a una escala local. Otras veces simplemente analizan un único tipo de estructuras (frecuentemente drenajes transversales, como Sparks y Gates (2012) o sólo determinados grupos faunísticos (por ejemplo, mesocarnívoros, Lesbarrères y Fahrig 2012).

En este trabajo se utiliza una escala regional para estudiar el uso que las especies más conspicuas de mamíferos silvestres hacen de siete tipos de estructuras de paso diferentes. Por tanto, se analizan de modo conjunto las relaciones entre distintas especies de fauna con un número elevado de pasos de diferente tipología en una extensa área geográfica, lo que constituye una novedad en este tipo de estudios.

El objetivo general del estudio consiste en establecer relaciones estadísticamente consistentes entre las características estructurales de los pasos transversales (principalmente el tipo de paso y su dimensión) y las especies que las usan, evitando sesgos producidos por la preferencia hacia determinados hábitats. Por ejemplo, se descartó del estudio la inclusión de la nutria (*Lutra lutra*) por su dependencia respecto de los ecosistemas acuáticos (Mata *et al.* 2005 y Serronha *et al.* 2013).

La información de partida para este trabajo procede de múltiples estudios de seguimiento ambiental de infraestructuras lineales de transporte completados entre los años 2000 a 2011. Todos estos estudios están incluidos en el programa de vigilancia ambiental de infraestructuras, que es obligatorio en España en aplicación de la legislación

de impacto ambiental. Estos programas suelen extenderse desde el primer año hasta el tercero, tras la apertura al tráfico de una infraestructura de transporte. Por tanto, la información analizada en este trabajo abarca desde los primeros estudios realizados en España para el seguimiento de la utilización de los pasos para fauna hasta otros más recientes. A lo largo de estos años los métodos se han ido perfeccionando y estandarizando progresivamente (número de días de muestreo, número de campañas, mecanismos de recogida de registros, etc.), por lo que se ha procedido a una armonización de toda esa información de cara a su uso conjunto en este trabajo.

Los principales objetivos del presente estudio son:

1. Determinar la influencia de la tipología y la dimensión de las estructuras transversales sobre el uso que hacen de ellas determinadas especies de mamíferos (ungulados y mesocarnívoros).
2. Evaluar la utilidad de diferentes tipos de estructuras transversales a partir de su utilización por las especies seleccionadas.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para este trabajo se ha recopilado la información sobre el uso de 270 estructuras transversales de paso distribuidas a lo largo de 10 autopistas, 2 autopistas y 2 líneas de ferrocarril de alta velocidad. Estas estructuras se encuentran dispersas por un amplio territorio peninsular que abarca un total de 12 provincias pertenecientes a cinco comunidades autónomas distintas (figura 1). Estas 270 estructuras transversales de pasos se corresponden con siete tipologías diferentes que son: pasos específicos superiores (6), pasos específicos inferiores (27), pasos multifuncionales superiores (36), pasos multifuncionales inferiores (70), drenajes circulares de 1,8 m de diámetro (67), drenajes tipo marco de 2 m x 2 m (44) y drenajes tipo marco de dimensiones mayores (20). Esta clasificación sigue los criterios del documento titulado "Prescripciones

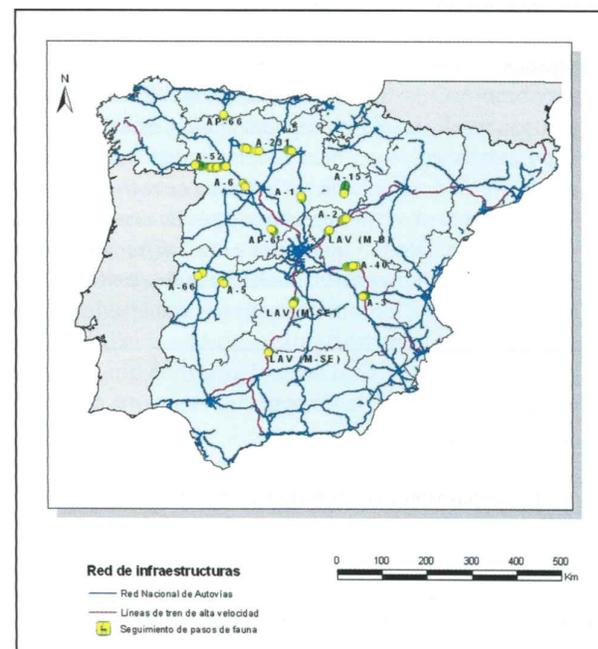


Figura 1. Ubicación geográfica de los diferentes pasos de fauna analizados en el estudio.

técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales”, publicado en 2006 por el Ministerio de Medio Ambiente de España, que contiene pautas para ubicar y elegir los pasos de fauna, con las dimensiones mínimas y recomendadas para facilitar a distintas especies de fauna el cruce de carreteras y ferrocarriles.

Para poder conjugar la información procedente de los diferentes informes se ha procedido a una armonización de los datos en función de dos aspectos: las especies escogidas y la metodología de seguimiento. En cuanto a las especies, se han seleccionado un total de seis mamíferos en función de su amplia distribución y de su elevada abundancia en la fauna mediterránea. Tres de ellas son ungulados: ciervo (*Cervus elaphus*), corzo (*Capreolus capreolus*) y jabalí (*Sus scrofa*); y las otras tres carnívoros: garduña (*Martes foina*), tejón (*Meles meles*) y zorro (*Vulpes vulpes*). Desde el punto de vista metodológico, para homologar los datos procedentes de campañas de muestreo de diferente duración se ha procedido a calcular, para cada uno de los pasos, la frecuencia media de uso por cada especie (dividiendo el número de días en que la especie utilizó el paso entre el número de días totales muestreados).

El método de control del uso de los pasos ha consistido en bandas de marmolina (Yanes *et al.*, 1995) y sistemas fotográficos con cámaras provistas de sensores de movimiento. La combinación de ambos sistemas es la técnica más ampliamente utilizada en los seguimientos del uso de pasos de fauna.

El efecto de la dimensión de los pasos se ha estudiado sólo en los pasos inferiores (que constituyen el 84,4 % de todas las estructuras analizadas), y se ha hecho a través del índice de apertura (el cociente entre la superficie de la embocadura del paso y su longitud). Se trata de un índice sintético que sirve para cuantificar el efecto túnel que presenta un paso a la hora de ser utilizado por la fauna silvestre. Cuanto mayor sea el índice, menor será el efecto túnel. Algunos autores han puesto de manifiesto la importancia de este parámetro sobre el uso que los mamíferos de tamaño medio y grande hacen de los pasos de fauna (Clevenger y Waltho, 2005).

Diferentes tests estadísticos no paramétricos (Chi cuadrado, Kruskal-Wallis y test de la U de Mann-Whitney) se han utilizado para analizar el uso de las diferentes estructuras de paso por parte de las especies (individualmente y en conjunto) así como la influencia del índice de apertura de los pasos inferiores sobre su frecuencia de uso. Todos los análisis estadísticos se han realizado con el programa Statistica (StatSoft Inc, 2001).

3. RESULTADOS

El 69% de los 270 pasos estudiados fue utilizado por alguna de las especies seleccionadas durante las campañas de muestreo, mientras que en 85 de los pasos no se observó su uso. Se observa una primera relación significativa entre el tipo de paso y su uso o no uso por parte de la fauna estudiada (Chi cuadrado=18,2, para 6 grados de libertad, $p=0,006$) en el sentido de que los drenajes circulares de 1,8 m de diámetro son menos utilizados de lo que por azar se esperaría mientras que los pasos específicos inferiores son más utilizados (figura 2). Por otra parte, el índice de apertura de los pasos inferiores en los que no se ha registrado

ningún paso es significativamente inferior al de los pasos inferiores que sí son utilizados por las especies analizadas (test de Mann-Whitney $U=3935$, $p=0,005$). El índice de apertura medio en los pasos no utilizados es de 0,32 mientras que en los pasos utilizados es de 0,74.

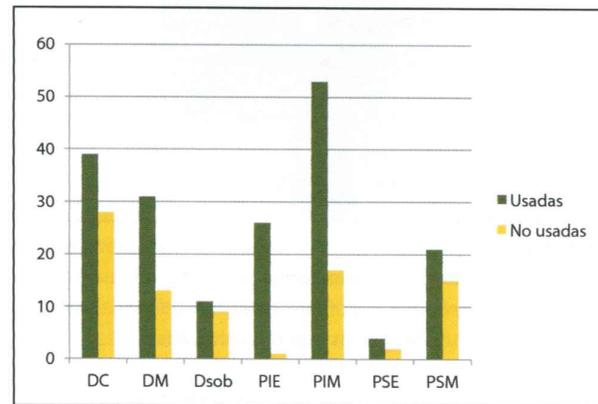


Figura 2. Número de estructuras transversales usadas y no usadas por la fauna estudiada por tipo de estructura de paso (DC: drenajes circulares de 1,8 m de diámetro, DM: drenajes tipo marco de 2 m x 2 m, DSob: drenajes tipo marco de dimensiones mayores, PIE: pasos inferiores específicos, PIM: pasos inferiores multifuncionales, PSE: pasos superiores específicos y PSM: pasos superiores multifuncionales).

Centrándonos en las 185 estructuras de paso que sí fueron utilizadas por la fauna, observamos que, considerando las seis especies estudiadas a la vez, existen notables diferencias en el uso que estas especies hacen de las distintas estructuras de paso (test de Kruskal Wallis, $H=38,05$, $p<0,001$). La tipología de pasos utilizada con más frecuencia por las especies estudiadas son los pasos específicos (tanto inferiores como superiores) frente a los drenajes circulares de 1,8 m de diámetro que, junto a los pasos multifuncionales superiores, fueron los menos utilizados (figura 3 y figura 4).

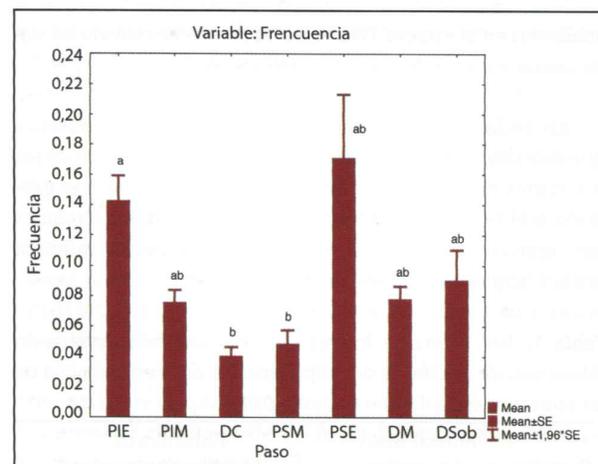


Figura 3. Frecuencias medias diarias de uso de las diferentes estructuras de paso de todas las especies analizadas en el estudio conjuntamente (las siglas como en la figura 2). Diferentes letras indican diferencias significativas entre grupos (test de Tukey, $p<0,05$).

A su vez, existen diferencias significativas en el uso que las distintas especies hacen de los pasos en conjunto, siendo el zorro la especie que, con notable diferencia, utiliza

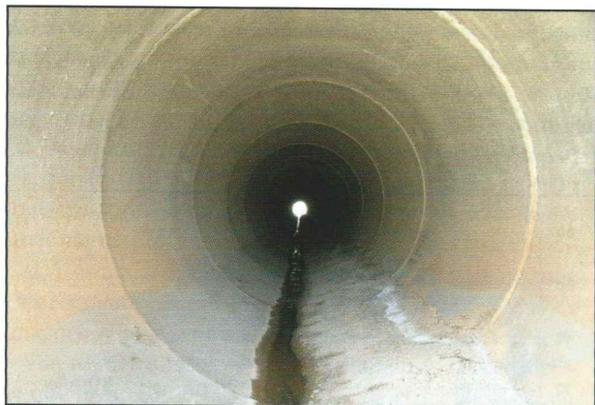


Figura 4. Drenaje circular de 1,8 m de diámetro adaptado al paso de la fauna mediante una plataforma inclinada en la base. Junto con los pasos superiores multifuncionales, han sido las estructuras de cruce menos usadas por las especies estudiadas.

los pasos con más frecuencia, seguida del tejón y en menor medida de todas las demás (test de Kruskal Wallis, $H=417,25$, $p<0,001$, figura 5).

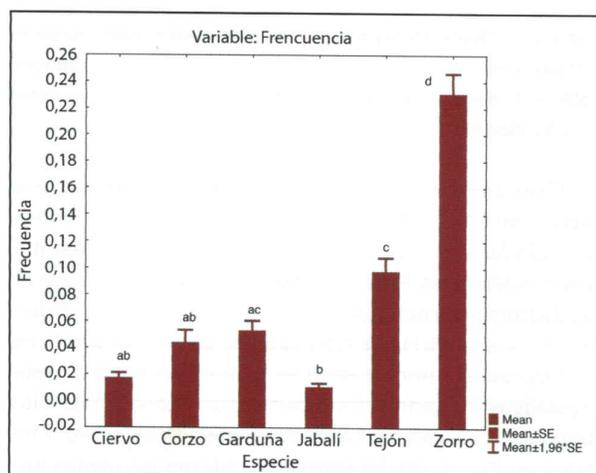


Figura 5. Frecuencias medias diarias de uso de las diferentes estructuras de paso en conjunto por cada una de las especies analizadas en el estudio. Diferentes letras indican diferencias significativas entre grupos (test de Tukey, $p<0,05$).

En todas las especies de fauna analizadas se observa que hay diferencias significativas en el uso que hacen de las diferentes estructuras de paso (tabla 1). Salvo para la garduña y el tejón, que utilizan preferentemente los drenajes tipo marco de 2 m x 2 m, el resto de las especies muestra preferencia por los pasos de tipo específico.

Tabla 1. Resultados de los tests de Kruskal-Wallis analizando diferencias de uso de las siete tipologías de paso en cada una de las seis especies analizadas (todas $p<0,05$)

Especie	Kruskal-Wallis H (6 grados libertad, N=185)	Estructura de paso utilizada con mayor frecuencia
Ciervo	32,423	Paso específico superior
Corzo	40,327	Paso específico (superior e inferior)
Garduña	31,916	Drenaje tipo marco de 2 m x 2 m
Jabalí	17,646	Paso específico (superior e inferior)
Tejón	15,134	Drenaje tipo marco de 2 m x 2 m
Zorro	25,701	Paso específico inferior

4. DISCUSIÓN

Los animales no utilizan los pasos transversales a las infraestructuras de transporte aleatoriamente, sino que muestran algunas preferencias que guardan relación con el tipo y el diseño de estas estructuras y también con el medio en el que se ubican. A partir del análisis de las frecuencias medias de paso en 270 estructuras de cruce de diferentes tipologías, hemos comprobado que las seis especies seleccionadas prefieren cruzar las vías de transporte utilizando **estructuras específicas** para el paso de la fauna, independientemente de su posición **superior o inferior** respecto a la vía. El emplazamiento de los pasos no se ha considerado en este trabajo, no obstante constituye un elemento crucial a la hora de diseñar los pasos de fauna (Clevenger y Whalton, 2000).

Los pasos específicos, por tanto, son mucho más utilizados que las restantes estructuras transversales, en promedio dos veces más que los **pasos inferiores multifuncionales**, los **drenajes en marco de 2 m x 2 m** y **mayores** y, también en promedio, hasta 4 veces más que los **drenajes circulares** y los **pasos superiores multifuncionales**.

Estas preferencias son comunes a las descritas en otros estudios, como el de Mata *et al.* (2008) que detectan frecuencias de 1,5 a 3 veces mayores en los pasos específicos respecto a los pasos no específicos en la misma posición relativa respecto a la carretera.

Por tanto, será particularmente necesario el diseño de estas estructuras específicas para fauna en las zonas más sensibles a la fragmentación de hábitats, como en carreteras y vías de ferrocarril instaladas en el borde o en el interior de zonas protegidas (Beben 2012 especifica las áreas incluidas en la Red Natura 2000), en corredores de fauna intersectados por infraestructuras de transporte y en infraestructuras que atraviesan el territorio de especies con planes especiales de recuperación.

En el extremo opuesto, hemos encontrado que las estructuras menos utilizadas son los **drenajes circulares** y los **pasos superiores multifuncionales**. Las seis especies seleccionadas usan con una frecuencia intermedia el resto de las estructuras: **pasos inferiores multifuncionales** y los **drenajes en marco de 2 m x 2 m** y **mayores**, que denominamos **drenajes sobredimensionados**.

El hecho de que los pasos de tipo multifuncional tengan un uso menor frente a los específicos probablemente guarde relación con la molestia derivada de los diferentes usos realizados en esas estructuras (paso de vehículos o personas, entre otros), que podrían inhibir los movimientos de la fauna salvaje. En este sentido, Clevenger y Waltho (2005) destacan los efectos de la actividad humana sobre el paso de especies muy esquivas. Además, en el caso particular de los pasos superiores multifuncionales, se han incluido dentro de esta tipología pasos que restituyen viales no pavimentados intersectados por carreteras o líneas de ferrocarril, pero que pueden o no presentar adecuaciones específicas para el paso de la fauna, como franjas laterales de tierra vegetal o pantallas laterales opacas. Estas estructuras sin adecuaciones parecen presentar un menor uso por la fauna que las que sí cuentan con ellas.

Respecto a los pasos inferiores, hemos establecido una relación entre el diseño de estas estructuras y el uso

de las mismas a través del índice de apertura, que es significativamente inferior en las estructuras no utilizadas por los animales (media de 0,32), mientras que en los pasos utilizados la media es de 0,74. Un índice mayor de apertura indica un menor efecto túnel (bien por tener una sección mayor o una longitud menor), lo que decididamente parece condicionar el uso de los pasos. Estos resultados concuerdan con los de numerosos investigadores que han puesto de manifiesto la importancia de este índice en los movimientos de la fauna (véase Cain *et al.* 2003, Clevenger y Waltho 2005), y que han llevado incluso a la recomendación de ciertos valores guía para el diseño de los pasos, concretamente de 0,5 para el paso de mamíferos de tamaño intermedio, y superiores a 0,75 para mamíferos de mayor tamaño (Meese *et al.* 2007). Las "Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales" (Ministerio de Medio Ambiente 2006) recomiendan un Índice de Apertura > 0,75 para jabalí y corzo y > 1,5 para ciervo, en pasos inferiores tanto específicos como multifuncionales.

Pero las diferencias no se manifiestan sólo en la selección de un tipo u otro de estructuras. También se encuentran diferencias significativas en la movilidad de las diferentes especies a través de estas estructuras. Los **carnívoros** son los que presentan mayor frecuencia de cruce, acumulando el 86 % de los registros. Destaca el **zorro** (54 %) sobre **tejón** (22 %) y **garduña** (11%). Los **ungulados** presentan frecuencias más bajas (14 %), siendo las menores las de **jabalí** (2 %) y **ciervo** (3 %) frente a la del **corzo** (9 %), intermedia entre éstos y los carnívoros.

Si analizamos por separado las preferencias de cada subconjunto de especies por los tipos de estructuras, nuevamente ungulados y carnívoros presentan patrones diferentes. Los **ungulados** parecen preferir en general los **pasos específicos**, tanto **superiores como inferiores** y evitan los **drenajes**, tanto **circulares (diámetro 1,8 m) como marcos de 2 m x 2 m y los sobredimensionados**.

Estos resultados concuerdan con los de Mata *et al.* (2008) que describen en jabalí frecuencias de uso 3 veces mayores en los pasos superiores específicos que en los pasos superiores multifuncionales y que detectan el paso de corzo exclusivamente por los pasos específicos inferiores y en el caso del ciervo, de modo preferentemente. De la misma forma, Glista *et al.* (2009) indican, a partir de un estudio en Holanda, la preferencia del ciervo y jabalí por los pasos superiores específicos, igual que el corzo en Suiza, Alemania, Francia y también Holanda.

Dentro de los **carnívoros**, si bien el zorro prefiere los **pasos específicos** (principalmente inferiores aunque también superiores) y evita los pasos más angostos, el **tejón** y la **garduña** prefieren los **drenajes tipo marco de 2 m x 2 m** y parecen evitar los **pasos superiores multifuncionales y los drenajes circulares (diámetro 1,8 m)**.

Mata *et al.* (2009) han observado también las preferencias significativas de zorro y tejón por los pasos inferiores, tanto específicos como multifuncionales. Serronha *et al.* (2013) han puesto de manifiesto que las frecuencias de uso pueden alterarse local y estacionalmente a causa de circunstancias como la inundación del paso. Por ejemplo, zorro y garduña se ven afectados muy negativamente por la presencia de agua cuando cubre más de un 70 % de la base del drenaje. Otras veces las alteraciones pueden estar

provocadas por la relación entre predadores y presas (Clevenger *et al.* 2001).

La idea más ampliamente difundida en la literatura científica es que, para favorecer el paso del mayor número posible de especies, es preciso el diseño de estructuras transversales de diferentes tipos y tamaños (Ng *et al.* 2004, Clevenger y Waltho 2005, Mata *et al.* 2005, Mata *et al.* 2008, Glista *et al.* 2009, Gurrutxaga *et al.* 2010, Beben 2012, Grandmaison 2012, Lesbarrères y Fahrig 2012, Juárez *et al.* 2013). Por ejemplo, Ascenão y Mira (2007) reconocen, en dos tramos de carreteras en Portugal, que la construcción exclusivamente de drenajes no resuelve los problemas de conectividad, ya que hay especies como jabalí, turón y gato montés que evitan completamente su uso. Aparentemente, lagomorfos, reptiles y pequeños mamíferos los evitan si son excesivamente largos. Sin embargo no son evitados por otros mesocarnívoros (tejón, zorro, garduña, etc.).

No debe confundirse la efectividad de un paso de fauna con el hecho de que la fauna lo esté utilizando. Glista *et al.* (2009), Lesbarrères y Fahrig (2012) y Van der Grift *et al.* (2013) advierten de que sólo podremos afirmar que el uso es efectivo cuando tengamos registros del movimiento de la fauna antes y después de la construcción de la infraestructura.

Por otra parte, al valorar la efectividad debemos tener en cuenta unos posibles "factores de confusión" que nos pueden llevar a malinterpretar los resultados del seguimiento de los pasos de fauna (Clevenger y Waltho 2005). Estos factores son la actividad humana en las estructuras de cruce o en su proximidad (hay especies muy esquivas), la densidad de estructuras (al haber más disminuye la frecuencia de utilización en cada estructura aunque globalmente pueda mejorarse la conectividad) y, finalmente, la accesibilidad de la fauna a la estructura (aunque tenga un diseño óptimo, si los animales encuentran dificultades para usar una determinada estructura, entonces elegirán otra aunque su diseño sea menos adecuado). El carácter "difuso" de los atropellos de la fauna en las carreteras menores (Langevelde *et al.* 2009), carentes de vallado y estructuras transversales, podría incluirse en el factor de accesibilidad a los pasos. Aunque en este estudio no se han tenido en cuenta estos otros factores, el elevado número y la amplia distribución geográfica de las estructuras sobre las que se ha hecho seguimiento avalan la representatividad de los resultados obtenidos.

En nuestro trabajo, aunque se describen afinidades diferentes por los pasos entre las seis especies seleccionadas, **todas parecen coincidir en las estructuras que menos utilizan: los drenajes circulares y los pasos superiores multifuncionales**.

Mata *et al.* (2008) obtienen, coincidiendo con nuestros resultados, que la tipología menos utilizada es la de los drenajes circulares de 1,8 m de diámetro. Sin embargo, también según su estudio, los pasos superiores multifuncionales son las estructuras que acumulan mayor frecuencia media de uso. Esto se debe principalmente a que Mata *et al.* (2008) engloban a todas las especies que usan las estructuras, incluyendo el grupo de cánidos (perros y lobos), que aportan frecuencias medias de uso muy elevadas (4,5) en los pasos superiores multifuncionales.

En conclusión, para las seis especies seleccionadas en nuestro trabajo, los pasos más atractivos son los específicos

(superiores e inferiores). Sin embargo, hasta un 70% de los registros se acumulan en los restantes pasos, simplemente por ser más numerosos.

Un factor que puede ser determinante sobre el conjunto de resultados en este tipo de estudios es la antigüedad de la infraestructura. Los años que lleva construida una infraestructura de transporte puede condicionar el grado de acostumbramiento a la misma por parte de la fauna de los hábitats colindantes. Hardy *et al.* (2003), Clevenger y Walther (2005), Lesbarrères y Fahrig (2012) y van der Grift *et al.* (2013), coinciden en que sería mucho más interesante desarrollar este tipo de seguimientos pasado cierto número de años. Gagnon *et al.* (2011) y Dodd *et al.* (2012) comprueban que las variables que explican el paso de ciervo (*Cervus elaphus*) en el primer año tras la apertura de una carretera son atributos estructurales, emplazamiento, estación, hora del día y número de meses de seguimiento. Al cabo de cuatro años sólo eran significativos los atributos estructurales y el emplazamiento. Bond y Jones (2008) detectan para los pasos inferiores tipo marco sobredimensionados un tiempo de adaptación de varios años, mientras que en los pasos superiores tipo ecoducto el tiempo de adaptación es inesperadamente corto.

Transcurridos unos años, las medidas correctoras dirigidas a integrar la infraestructura en los hábitats (revegetación de taludes, pantallas vegetales, etc.) estarán suficientemente desarrolladas cumpliendo la función para la que se diseñaron (figura 6). También las nuevas generaciones de las comunidades que tendrán que utilizar los pasos ya han nacido con las infraestructuras presentes. Limitando la recogida de datos a los primeros años después de construir la infraestructura podríamos llegar a conclusiones erróneas sobre la utilización real de los pasos.

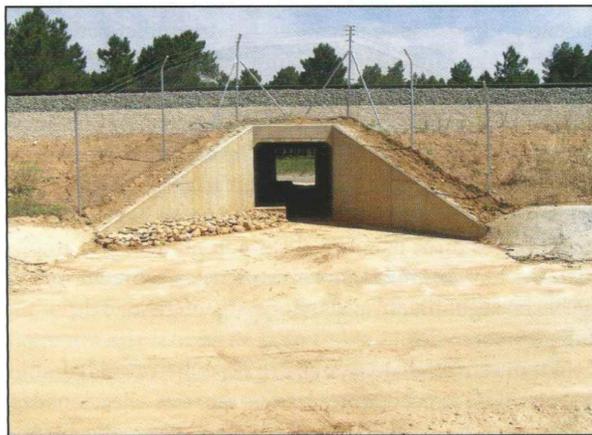


Figura 6. La utilización de los pasos por la fauna cambia con el tiempo, al desarrollarse las medidas de integración ambiental y también debido al acostumbramiento de la fauna a la infraestructura. La imagen muestra un drenaje de tipo marco de 2 m x 2 m, con una banqueta lateral para facilitar el paso seco a la fauna. La banqueta conecta con el exterior mediante un encachado.

Todas las estructuras transversales recogidas en el presente trabajo se han estudiado dentro de los programas de seguimiento ambiental requeridos por las leyes de evaluación ambiental en los primeros años (normalmente los tres primeros años) de explotación de carreteras y ferrocarriles. Este aspecto podría influir sobre los resultados puesto que la fauna aún no ha tenido tiempo suficiente para

acostumbrarse a utilizar los pasos sobre los que se realizan dichas tareas de seguimiento. Sin embargo, suponemos que con el tiempo lo que cambiará principalmente será la frecuencia de uso de una estructura determinada más que la elección de la tipología de la estructura de cruce.

5. CONCLUSIONES

Obtenemos cuatro conclusiones principales en nuestro estudio:

1. Para favorecer la conectividad entre hábitats fragmentados por infraestructuras de transporte es conveniente la instalación de diferentes tipos de estructuras transversales.
2. En zonas más sensibles (áreas protegidas, corredores de fauna, etc.) es más importante la instalación de pasos específicos.
3. El diseño de los pasos inferiores debería contemplar valores de índice de apertura adecuados en función de la especie objetivo para los que se conciben.
4. Los programas de seguimiento de las infraestructuras deben incluir actuaciones de revisión de la utilización de las estructuras transversales por la fauna cada cierto número de años a fin de reconocer su funcionamiento y tomar las medidas de restauración de la conectividad cuando sea necesario.

6. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo recoge parte de los resultados obtenidos en el Trabajo de Fin de Grado de Antonio V. García García, realizado mediante un acuerdo de colaboración entre la Universidad de Alcalá y el CEDEX y defendido en la UAH el 19/06/2013 obteniendo la calificación de sobresaliente.

El desarrollo de los múltiples estudios que constituyen la base del presente trabajo se ha realizado mediante sucesivos acuerdos entre la UAM, el MAGRAMA y el CEDEX. Dedicamos una especial mención a Juan Manuel Varela (CEDEX), Javier Cachón (MAGRAMA) y Francisco Suárez (UAM), que fueron los iniciadores de los mismos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ascensão, F. y Mira, A. (2007). Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecol Res* 22: 57-66.
- Beben, D. (2012). Crossing for Animals - An Effective Method of Wild Fauna Conservation. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 20 (1): 86-96.
- Bond, A.R. y Jones D.N. (2008). Temporal trend in use of fauna-friendly underpasses and overpasses. *Wildlife Research* 35: 103-112.
- Cain, A.T., Tuovila, V.R., Hewitt, D.G., y Tews, M.E. (2003). Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in Southern Texas. *Biological Conservation* 114: 189-197.
- Chambers, B. y Bencini, R. (2013). The Factors Affecting the Use of Fauna Underpasses by Quenda and Bobtail Lizards. Technical Report. The University of Western Australia. 24 pp.
- Clevenger, AP., Whalton N. (2000). Factors Influencing the Effectiveness of Wildlife Underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*, 14 (1): 47-56.

- Clevenger, A.P., Chruszcz, B. y Gunson, K. (2001). Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. *Journal of Applied Ecology* 38: 1340-1349.
- Clevenger, A.P. y Waltho, N. (2005). Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation* 121: 453-464.
- Dodd, Jr C.K., Barichivich, W.J. y Smith, L.L. (2004). Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation* 118: 619-631.
- Dodd, N.L., Gagnon, J. W., Boe, S., Ogren, K. y Schweinsburg, R.E. (2012). Wildlife-Vehicle Collision Mitigation for Safer Wildlife Movement across Highways: State Route 260. Technical Report No. FHWA-AZ-12-603. 128 pp.
- Gagnon, J.W., Dodd, N.L., Ogren, K.S. y Schweinsburg, R.E. (2011). Factors Associated With Use of Wildlife Underpasses and Importance of Long-Term Monitoring. *Journal of Wildlife Management* 75 (6): 1477-1487.
- Glista, D.J., DeVault, T.L. y DeWoody, J.A. (2009). A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning* 91: 1-7.
- Grandmaison, D.D. (2012). Wildlife Linkage Research in Pima County: Crossing Structures and Fencing to Reduce Wildlife Mortality. Technical Report. Arizona Game and Fish Department. 97 pp.
- Grilo, C., Bissonette, J.A. y Santos-Reis, M. (2008). Response of carnivores to existing highway culverts and underpasses: implications for road planning and mitigation. *Biodivers Conserv* 17: 1685-1699.
- Gurrutxaga, M., Lozano, P.J. y del Barrio, G. (2010). Assessing Highway Permeability for the Restoration of Landscape Connectivity between Protected Areas in the Basque Country, Northern Spain. *Landscape Research* 35 (5): 529-550.
- Hardy, A., Clevenger, A.P., Huijser, M. y Neale, G. (2003). An overview of methods and approaches for evaluating the effectiveness of wildlife crossing structures: emphasizing the science in applied science. *ICOET Proceedings - Making Connections*. 319-330.
- Juárez, E., Mata, C., Colomer, MRGS., Malo, J.E., Herranz, J. y Suárez, F. (2013). Seguimiento del uso de las estructuras transversales de la autovía A-40 por los vertebrados terrestres, antes y durante la construcción de la línea de alta velocidad Madrid-Levante. *Ingeniería Civil* 170: 67-75.
- Klar, N., Herrmann, M. y Kramer-Schadt, S. (2009). Effects and Mitigation of Road Impacts on Individual Movement Behavior of Wildcats. *Journal of Wildlife Management* 73 (5): 631-638.
- Langevelde, Fv., Dooremalen, Cv. y Jaarsma, C.F. (2009). *Journal of Environmental Management* 90: 660-667.
- Lesbarrères, D. y Fahrig, L. (2012). Measures to reduce population fragmentation by roads: what has worked and how do we know? *Trends in Ecology and Evolution* 27 (7): 374-380.
- Mata, C., Hervás, I., Herranz, J., Suárez, F. y Malo, J.E. (2005). Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced Spanish motorway. *Biological Conservation* 124: 397-405.
- Mata, C., Hervás, I., Herranz, J., Suárez, F. y Malo, J.E. (2008). Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a Spanish motorway. *Journal of Environmental Management* 88: 407-415.
- Mata, C., Hervás, I., Herranz, J., Malo, J.E. y Suárez, F. (2009). Seasonal changes in wildlife use of motorway crossing structures and their implication for monitoring programmes. *Transportation Research Part D* 14: 447-452.
- Meese, R.J., Shilling, F.M. y Quinn, J.F. (2007). *Wildlife Crossings Assessment & Mitigation Manual*. University of California, Davis & California Department of Transportation. 87 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente (2006). *Prescripciones Técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 1. O. A. Parques Nacionales*. Ministerio de Medio Ambiente. 112 pp. Madrid.
- Recuperado de http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/prescripciones_pasos_vallados_tcm7-19518.pdf
- Ng, S.J., Dole, J.W., Sauvajot, R.M., Riley, S.P.D. y Valone, T.J. (2004). Use of highway undercrossings by wildlife in southern California. *Biological Conservation* 115: 449-507.
- Serronha, A. M., Mateus, A.R.A., Eaton, F., Santos-Reis, M. y Grilo, C. (2013). Towards effective culvert design: monitoring seasonal use and behavior by Mediterranean mesocarnivores. *Environ Monit Assess* 185: 6235-6246.
- Smith, D.J. (2012). Determining Location and Design of Cost-Effective Wildlife Crossing Structures Along US-64 in North Carolina. *Journal of the Transportation Research Board* 2270: 31-38.
- Sparks, J.L.Jr. y Gates, J.E. (2011). An Investigation into the Use of Road Drainage Structures by Wildlife in Maryland. Technical Report No. MD-11-SP909B4M. University Of Maryland Center for Environmental Science. 69 pp.
- Sparks, J.L.Jr. y Gates, J.E. (2012). An Investigation into the Use of Road Drainage Structures by Wildlife in Maryland. *Human-Wildlife Interactions* 6(2): 311-326.
- StatSoft, Inc. (2001). *Statistica for Windows (Computer Program Manual)*. StatSoft Inc.: Tulsa (OK).
- Van der Grift, E.A., Van der Ree, R., Fahrig, L., Findlay, S., Houlahan, J., Jaeger, J.A.G., Klar, N., Madriñan, L.F. y Olson, L. (2013). Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodivers Conserv* 22: 425-448.
- Yanes, M., Velasco, J.M. y Suárez, F. (1995). Permeability of roads and railways to vertebrate: the importance of culverts. *Biological Conservation* 71, 217-222.