

# Análisis de la efectividad de los pasos de fauna en un tramo de la autovía de las Rías Bajas (A-52)

CRISTINA MATA (\*); ISRAEL HERVÁS (\*); FRANCISCO SUÁREZ (\*); JESÚS HERRANZ (\*);  
JUAN E. MALO (\*); JAVIER CACHÓN (\*\*); y JUAN MANUEL VARELA (\*\*\*)

**RESUMEN** Entre 2001 y 2003 se realizó en la autovía de las Rías Bajas (A-52) un seguimiento exhaustivo de las estructuras transversales a la citada vía, con el fin de conocer y evaluar la utilización de las mismas por los vertebrados. En total se llevaron a cabo 4 campañas de muestreo, en las que se controlaron 113 estructuras distintas, incluyendo todas las diseñadas o adecuadas para la fauna y otras de tipo funcional (drenajes, pasos inferiores y superiores). La práctica totalidad de los vertebrados inventariados en la zona de estudio utilizaron los distintos pasos. El diseño de la estructura resultó determinante para su utilización por la fauna, observándose un uso diferencial directamente relacionado con el tamaño del animal. Se concluye que las estructuras diseñadas para la fauna y las de tipo funcional son complementarias en la mitigación del efecto barrera sobre los vertebrados.

## FALTA TITULO EN INGLES

**ABSTRACT** *From 2001 to 2003, an exhaustive monitoring program of crossing structures in A-52 motorway (NW Spain) was undertaken, in order to determine their use by terrestrial vertebrates. 113 crossing structures were selected for monitoring in 4 sampling periods. All wildlife passages were monitored, as well as some circular and box culverts, open span underpasses and overpasses, inherent to the motorway. Almost all terrestrial vertebrate species in the area were recorded using the crossing structures. Structure design was the most determining aspect for their utilization by fauna, and a direct positive relationship between animal size and crossing structures size could be detected in general terms. Results show the differential utilization of the distinct types of transversal structures to the motorway by the different species, indicating that the different crossing structures are complementary in the alleviation of the barrier effect.*

**Palabras clave:** Carreteras, Efecto barrera, Fragmentación de hábitat, Seguimiento, Vertebrados.

## 1. INTRODUCCIÓN

En lo que al transporte por carretera se refiere, en las últimas décadas se está produciendo un crecimiento rápido y continuo de la red nacional de carreteras que alcanzaba los 164.584 km en el año 2003, de los cuales unos 12.000 km están constituidos por vías de gran capacidad, una de cuyas características es tener los accesos restringidos mediante una malla metálica.

Uno de los efectos negativos, consecuencia de ese crecimiento de la red, es la pérdida de superficie que sufren los hábitats en los que se implanta, debido al cambio de uso del suelo. Por otra parte, la presencia de las vías ocasiona también, desde una perspectiva territorial, la fragmentación de los hábitats. Esta situación ocasiona el inevitable

descenso de las poblaciones ligadas a éstos, tanto por la pérdida de territorio y recursos como por las bajas producidas por atropello

La presencia de carreteras y autovías produce un gran número de bajas, por atropello, en los vertebrados terrestres, y además supone (especialmente en las vías de alta capacidad valladas) un obstáculo para el movimiento de estos animales. Esta situación se denomina efecto barrera, definida por producir cambios en los hábitats al fraccionarlos y determina nuevos movimientos diarios y estacionales, influyendo en la distribución territorial de la fauna (Ballon, 1985). Este aislamiento o fraccionamiento de hábitats debido a la reducción de su interconexión puede conducir y/o contribuir al declive e incluso desaparición de poblaciones locales, especialmente aquellas de pequeño tamaño, siendo en la actualidad una de las causas más comunes de extinciones a escala local (Lodé, 2000).

Como respuesta a este problema, por imperativo legal de la Ley 6/2001 de modificación del Real Decreto legislativo 1302/1986 de evaluación de impacto ambiental y el Reglamento que lo desarrolla, se exige como medida correctora, en las Declaraciones de Impacto Ambiental de proyectos de in-

(\*) Dpto. de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.

(\*\*) Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

(\*\*\*) Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.



FOTOGRAFÍA 1. Paso.

fraestructuras lineales de transporte, el establecimiento de pasos de fauna específicos y la adecuación de drenajes transversales y otros pasos superiores o inferiores para que actúen como pasos de fauna complementarios.

Estas medidas están destinadas a mejorar la permeabilidad de las infraestructuras lineales al paso de la fauna, facilitando tanto la conexión entre las áreas afectadas por el trazado como los movimientos de los vertebrados terrestres entre las márgenes de las vías.

En el año 2000, la Dirección General de Evaluación y Calidad Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, se planteó la necesidad de realizar estudios para verificar los impactos reales sobre los vertebrados terrestres originados por la presencia de las nuevas vías de gran capacidad, así como también analizar la eficacia de los distintos tipos de pasos transversales a las vías construidos y destinados, en sentido amplio, a restituir servidumbres (ríos, drenajes transversales, vías de transporte, vías pecuarias, pasos de fauna, etc.), encargando estos trabajos al CEDEX, encargo que continúa en esta fecha.

Los estudios de seguimiento y valoración de la eficacia de los pasos transversales a las autovías han sido realizados a lo largo de cinco años (2000-2004) por el CEDEX, en colaboración con el Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid. En este artículo se presentan las conclusiones obtenidas de los datos relativos a la utilización de pasos de fauna situados en un tramo de la autovía Rías Bajas (A-52).

Los principales objetivos de este estudio, acordes con el planteamiento antes expuesto, son básicamente dos:

- Determinar qué grupos de vertebrados terrestres hacen uso de los pasos existentes en las autovías
- Analizar la influencia de una serie de características relacionadas con el diseño de los pasos, en la utilización de éstos por parte de las distintas especies de vertebrados terrestres.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO, MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDIO

Los trabajos de campo se han llevado a cabo en un tramo de la autovía de las Rías Bajas (A-52) situado entre las localidades de Benavente (Zamora) y Orense (ppkk: 275-218). Esta autovía fue abierta al tráfico en 1998 y presenta una Intensidad Media Diaria de tráfico próxima a los 4500 vehículos, con un 22,5% de tráfico pesado.

El trazado de la autovía tiene una orientación Este-Oeste, coincidiendo con un incremento del gradiente altitudinal. Los cultivos de secano dominan el paisaje en los primeros 20 km de autovía. La vegetación de los siguientes 30 km, corresponde a un mosaico de encinares (*Quercus ilex*) con jarales (*Cistus ladaniifer*), piornales (*Cytisus multiflorus*, *C. scoparius*) y pastizales de *Agrostis castellana*, junto con una pequeña proporción de cultivos. El resto del trazado discurre entre teselas de melojar (*Quercus pyrenaica*), piornales, matorrales bajos (*Genista tridentata*, *Halimium ocymoides*, *H. lasianthum*) y prados húmedos.

La zona tiene una gran riqueza faunística, entre la que destacan importantes poblaciones de grandes herbívoros tales como el ciervo (*Cervus elaphus*), el corzo (*Capreolus capreolus*) y el jabalí (*Sus scrofa*), así como el lobo (*Canis lupus*).

### 2.2. SEGUIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE PASO

Se controlaron 113 estructuras, de las cuales 62 lo fueron en más de una temporada, constituyendo en conjunto una muestra total de 175. La selección de las diferentes estructuras se realizó teniendo en cuenta dos premisas:

- Incluir todos los pasos específicos para la fauna.
- Incorporar una muestra representativa de cada uno de los tipos de estructuras transversales presentes en la autovía, tanto las estructuras adecuadas para la fauna como aquellas de carácter funcional, inherentes a la propia infraestructura (Tabla1).

Tipo	Campañas de control				N	Dimensiones (m)			Función
	Primavera 2001	Otoño 2001	Verano 2002	Invierno 2003		anchura	altura	longitud	
Drenajes circulares	14	2	33	17	42	∅ 1.80		35–60 <sup>a</sup>	drenaje
Drenajes adecuados	6	1	10	0	16	1,7–4	1,7–3	36–50 <sup>b</sup>	drenaje, adaptado para la fauna
Pasos Inferiores Mixtos	8	3	14	10	21	2–17,0	2–7,2	32–62	resfituir carreteras y pistas rurales
Pasos Inf. Específicos	5	1	7	5	8	9,0–20	4–8,0	30–36 <sup>c</sup>	fauna, cerrado a vehículos
Pasos Superiores Mixtos	6	3	16	7	22	7,1	–	58–64	reestablecer caminos rurales
Pasos Sup. Específicos	4	1	2	0	4	14,7–20	–	60–62	fauna, cerrado a vehículos

TABLA 1. Características básicas de las estructuras sujetas a seguimiento: tipo, número de estructuras controladas por campaña de muestreo, número total (N), dimensiones y función. <sup>a</sup> un paso de 72 m y dos de 80 m; <sup>b</sup> un drenaje de 145 m y otro de 150 m, <sup>c</sup> un paso de 96 m.

El seguimiento del uso de las estructuras de paso por los vertebrados se realizó entre los años 2001 y 2003, en cuatro periodos coincidiendo con diferentes estaciones del año, para detectar posibles variaciones temporales en el uso de los pasos por la fauna (Tabla 1).

El método de control fue el registro de huellas mediante marmolina (polvo de mármol), material inodoro que permite la obtención de huellas de gran calidad y persistencia debido a su densidad (Yanes *et al.*, 1995). En cada paso se instaló una banda de 1 m de anchura y 3-10 mm de espesor, de forma perpendicular al eje del paso y extendida de lado a lado en la mitad del mismo. Los pasos se revisaron diariamente hasta obtener 10 días válidos de control. Las huellas se identificaron siguiendo la metodología propuesta por Bang y Dahlström (1997).

La identificación a nivel de especie no siempre fue posible. Por ello, se establecieron una serie de grupos faunísticos, que englobaban aquellas especies que podrían ser confundidas: anuros (incluyendo todas las especies de ranas y sapos), lacértidos (*Lacerta* spp., *Psammodromus* spp. y *Podarcis* spp.), ofidios (serpientes y otros reptiles sin extremidades), micromamíferos (ratones, musarañas y topillos), ratas de agua y topera (*Arvicola sapidus* y *A. terrestris*), ratas negra y parda (*Rattus rattus* y *R. norvegicus*), lagomorfos (conejos *Oryctolagus cuniculus* y liebres *Lepus granatensis*), pequeños mustélidos (comadreja *Mustela nivalis* y armiño *M. erminea*), mustélidos de tamaño medio (garduña *Martes foina* y marta *M. martes*), gatos (gato doméstico *Felis catus* y gato montés *F. silvestris*) y cánidos (perro *Canis familiaris* y lobo *C. lupus*).

De forma complementaria, para determinar la identidad de aquellas especies cuyas huellas están sujetas a confusión, se instaló un sistema fotográfico en 53 de las estructuras para obtener de forma automática imágenes de los animales (en 35 estructuras durante más de una campaña).

El sistema fue diseñado expresamente para esta finalidad, y consta de tres grupos de elementos fundamentales:

- 1) El detector de barrera de infrarrojos, constituido por sensores de tipo activo, un emisor de infrarrojos y dos receptores, uno de ellos colocado a ras del suelo para detectar los animales más pequeños (Fotografía 2).



FOTOGRAFÍA 2. Anuro.

- 2) La cámara fotográfica digital.
- 3) El controlador encargado de la transmisión de señales desde los sensores a la cámara.

### 2.3. TRATAMIENTO DE DATOS

La unidad de análisis considerada fue el número de días en los que se registraron huellas de la especie (o grupo faunístico) en un paso. Para el análisis de los resultados fotográficos se utilizó el mismo procedimiento, definiendo como contacto el total de imágenes obtenidas de una misma especie en un mismo día independientemente del número de ellas. De este modo, se evitan los problemas de pseudo replicación asociados con la posibilidad de contabilizar varios registros de una misma especie en un mismo paso y día. Los datos obtenidos a través del sistema fotográfico se utilizaron, además de determinar la identidad de especies cuyas huellas están sujetas a confusión, para estimar la importancia relativa de las distintas especies que conforman cada uno de los grupos definidos anteriormente.

### 2.3.1. Selección de las estructuras: patrones generales

La utilización relativa de cada tipo de estructura por cada una de las especies de vertebrados se ha establecido mediante un índice de uso (I.U.) definido como:

$$I.U. = (n_{ij}/e_j)/(N_i/E),$$

donde:  $n_{ij}$  es el número de observaciones-día para una especie  $i$  (o para el conjunto de ellas) en un tipo de estructura  $j$ ;  $e_j$  es el número de estructuras del tipo  $j$ ;  $N_i$  es el número de observaciones-día para una especie (o para el conjunto de ellas) en el total de estructuras y  $E$  es el número total de estructuras controladas. Este índice de uso permite comparar sin sesgos, por el tamaño de la muestra, los registros observados en un tipo de paso con los esperados teniendo en cuenta todos los tipos de pasos; siendo 1 el valor de I.U. en el caso de una utilización en el caso de una utilización homogénea de la especie  $i$  de todos los tipos de estructura.

Para detectar posibles patrones generales en el uso de las estructuras por las distintas especies, se ha llevado a cabo un escalado multidimensional (MDS) de proximidades. Se utilizó el programa PROXSCAL (SPSS versión 12.0; SPSS Inc., 2003), considerando los registros obtenidos en los 175 casos correspondientes a las cuatro campañas realizadas.

Se usó como índice de similitud la distancia euclídea, así como el procedimiento estándar de ordenación. Basándose en los valores de ajuste obtenidos ( $\text{stress} < 0,1$ ) se optó por la utilización de la solución en dos dimensiones. Las diferencias entre especies en la utilización de las estructuras se analizó mediante un MANCOVA (STATISTICA 6.1, Statsoft Inc., 2002) aplicado a las coordenadas obtenidas en el MDS, considerado el tipo de paso como factor (variable independiente) y la posición del paso en la carretera (pk) como covariante, puesto que las diferencias podrían provenir de un cambio en la composición de la comunidad de vertebrados asociada al gradiente geográfico abarcado en el estudio.

Para aquellas estructuras que contaban con más de una campaña de observaciones ( $N = 62$ ), las posiciones consideradas fueron la media de las obtenidas en los distintos periodos, puesto que al menos en esta zona no existe una variación estacional en los patrones de selección de los pasos por parte de la fauna (C. Mata, datos inéditos).

La identidad de las especies que mejor explicaban las posiciones de los pasos en las dos dimensiones del MDS, se determinó correlacionando los valores de los ejes  $x$  e  $y$  con su frecuencia de aparición en cada paso, utilizando para ello el coeficiente de correlación de Spearman y corrigiendo la probabilidad por el método de Bonferroni (Rice, 1989). También se analizó de forma similar la posible variación de las especies relacionada con el gradiente geográfico (PK). En ambos casos, para aquellas estructuras con más de una observación estacional, se utilizó la media de las presencias diarias.

### 2.3.2. Selección de estructuras: patrones interespecíficos

Para detectar aquellas especies o grupos faunísticos que presentaron diferencias en la utilización de los diferentes tipos de pasos se utilizó el test de Kruskal-Wallis, debido a la ausencia de normalidad de los datos. Al igual que en el caso anterior, para corregir las probabilidades obtenidas se aplicó la corrección secuencial de Bonferroni.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. ESPECIES QUE HACEN USO DE LAS ESTRUCTURAS DE PASO

En total se obtuvieron 1774 registros de huellas de vertebrados, cifra que equivale a una media de 1,01 rastros por día y paso. Entre las 21 especies y grupos faunísticos registrados, los micromamíferos, cánidos, zorros (*Vulpes vulpes*) y lagomorfos fueron los más detectados cuando hicieron uso de las diferentes estructuras. Con frecuencias algo menores fueron registrados tejones (*Meles meles*) y gatos; el resto de las especies lo fueron con frecuencias muy inferiores (Tabla 2).

El número total de imágenes obtenidas mediante el sistema fotográfico en los 940 días-paso de control fue de 7223. Eliminando los contactos derivados de la actividad humana (personas a pie, ganado y vehículos) y los relativos a aves, el número se reduce a 564 detecciones (especies-día) que corresponden a diversas especies de vertebrados.

El número de detecciones se reduce a 225 especies-día si se consideran únicamente las especies sujetas a confusión, destacando entre ellas 16 contactos pertenecientes a pequeños mustélidos, de los cuales el 75,0 % corresponden a comadreas y el 25,0 % restante a armiños (fotografía 3). De los 83 registros de lagomorfos, el 33,7% se refieren a conejos y el 66,3% restante a liebres. No hay diferencias significativas entre especies en la frecuencia de uso de los distintos tipos de paso ( $\chi^2 = 0,667$ , 4 g.l.,  $p = 0,955$ ).

En cuanto a los gatos, se obtuvieron 39 registros de gato doméstico, y sólo uno de gato montés en un paso inferior específico. Por último, de los 86 registros de cánidos, el 87,2% correspondieron a perros, repartidos por todos los tipos de paso, y tan sólo un 12,8% fueron de lobo, habiéndose obtenido en su gran mayoría en pasos superiores (10 contactos sobre 11), tanto específicos como mixtos (fotografía 4).

### 3.2. SELECCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS POR LOS VERTEBRADOS: PATRONES GENERALES

Todos los tipos de estructuras fueron utilizados y presentan un índice de uso bastante similar (media  $\pm$  desviación estándar:  $1,074 \pm 0,021$ ; Figura 1). Los pasos superiores específicos presentan el índice de uso más alto, mientras que en los drenajes circulares fue inferior al esperado (I.U. = 0,81).



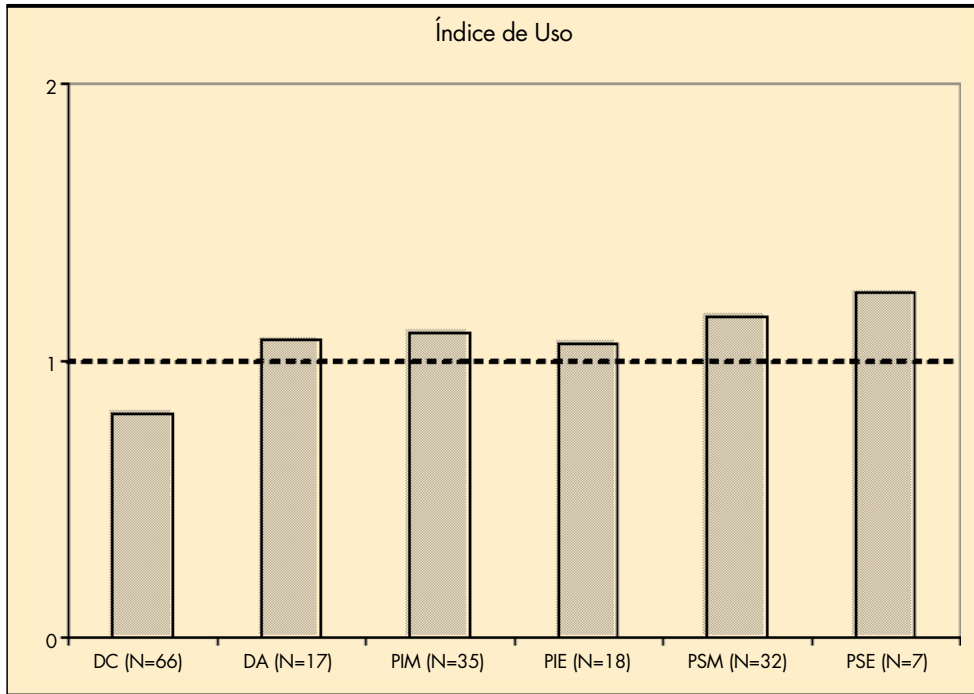
FOTOGRAFÍA 3. Armiños.

	Drenajes circulares	Drenajes adecuados	Pasos Inferiores Mixtos	P. Inf. Específicos	P. Superiores Mixtos	P. Sup. Específicos	Media
	n=42	n=16	n=21	n=8	n=22	n=4	
<b>Especies</b>							
Erizo ( <i>Erinaceus europaeus</i> )	0.002	0	0.012	0.069	0.005	0	0.0088
Lirón careto ( <i>Eliomys quercinus</i> )	0.001	0	0	0	0	0	0.0004
Ardilla ( <i>Sciurus vulgaris</i> )	0	0.006	0	0	0	0	0.0009
Turón ( <i>Mustela putorius</i> )	0	0	0.005	0.004	0	0	0.0012
Tejón ( <i>Meles meles</i> )	0.030	0.231	0.083	0.099	0.005	0	0.0673
Gineta ( <i>Genetta genetta</i> )	0.004	0.000	0.010	0.019	0	0	0.0044
Zorro ( <i>Vulpes vulpes</i> )	0.064	0.191	0.289	0.294	0.151	0.279	0.1646
Corzo ( <i>Capreolus capreolus</i> )	0	0	0	0.017	0	0	0.0012
Ciervo ( <i>Cervus elaphus</i> )	0	0	0.006	0.008	0.005	0.108	0.0065
Jabalí ( <i>Sus scrofa</i> )	0	0	0	0.030	0.009	0.121	0.0082
<b>Grupos faunísticos</b>							
Anuros	0.017	0.072	0.025	0.013	0.012	0	0.0243
Lacértidos	0.081	0.053	0.003	0.030	0.028	0.008	0.0461
Ofidios	0.001	0.028	0.002	0	0.005	0.025	0.0065
Micromamíferos	0.454	0.263	0.110	0.057	0.383	0.025	0.3058
Ratas	0.017	0.031	0.015	0.010	0.015	0	0.0171
Ratas de agua	0.012	0.038	0	0	0	0	0.0097
Lagomorfos	0.027	0.006	0.180	0.325	0.189	0.246	0.1129
Mustélidos pequeños	0.041	0.019	0.004	0.017	0.005	0	0.0207
Mústelidos medianos	0	0.006	0.002	0.003	0	0	0.0015
Gatos ( <i>Felis sp.</i> )	0.073	0.05	0.074	0.050	0.072	0.083	0.0683
Cánidos ( <i>Canis sp.</i> )	0.069	0.1125	0.277	0.165	0.317	0.192	0.1733

**TABLA 2.** Media de registros diarios por estructura de las especies y grupos específicos a lo largo de los 10 días de control.



**FOTOGRAFÍA 4.** Lobo.

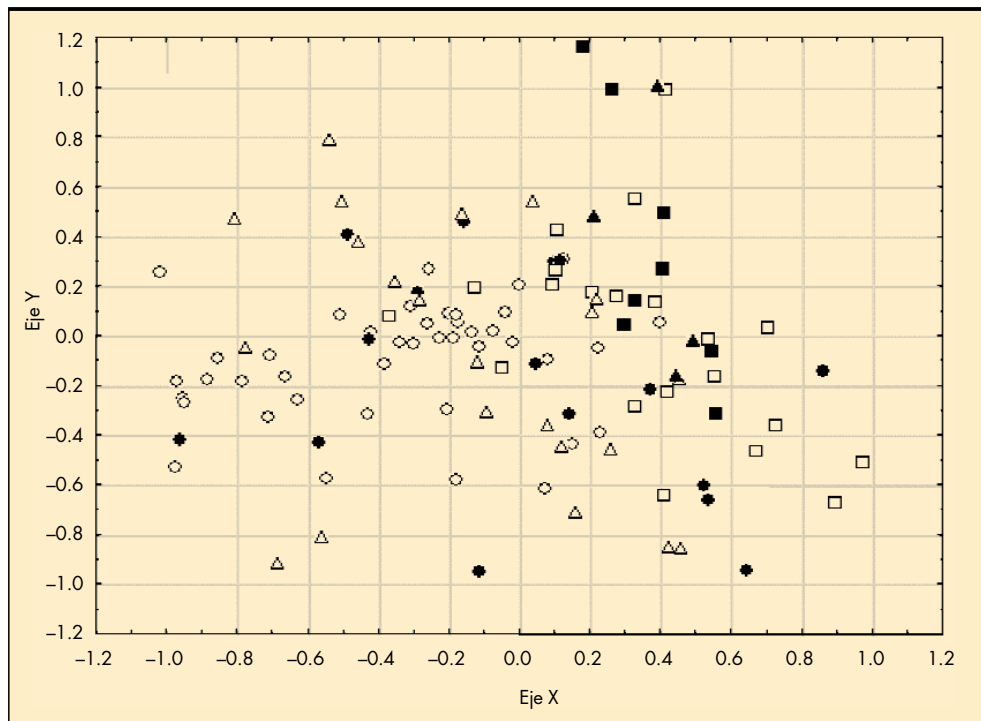


**FIGURA 1.** Índices de uso detectado por cada uno de los diferentes tipos de estructuras en la autovía A-52. DC: drenaje circular; DA: drenaje adecuado; PIM: paso inferior mixto; PIE: paso inferior específico, PSM: paso superior mixto; PSE: paso superior específico. n: número de estructuras controladas.

	Wilk's $\lambda$	g.l.1	g.l.2	p
TIPO (Factor)	0,524	10	212	<0.0001
PK (Covariante)	0,890	2	106	0.0021

**TABLA 3.** Resultados del MANCOVA sobre el efecto del tipo de paso y la covariante localización de la estructura (PK), sobre la posición de las estructuras en los ejes x, y, del MDS que sintetiza los patrones de variabilidad de uso las mismas por los vertebrados.

**FIGURA 2.** Representación gráfica de la distribución de las diferentes estructuras en los ejes x e y, obtenida en la ordenación del Multidimensional Scaling realizado a partir de los registros de la fauna detectada cruzando por las estructuras transversales a la autovía. Se diferencian los distintos tipos de estructuras analizadas: drenajes circulares (círculos en blanco), drenajes adecuados (círculos negros), pasos inferiores mixtos (cuadrados en blanco), pasos inferiores específicos (cuadrados en negro), pasos superiores mixtos (triángulos en blanco) y pasos superiores específicos (triángulos en negro).



	X media	Y media
Drenaje circular	-0.3380	-0.0942
Drenaje adecuado	0.0174	-0.1944
Paso Inferior Mixto	0.3584	-0.0094
Paso Inferior Específico	0.3708	0.3445
Paso Superior Mixto	-0.1354	-0.0990
Paso Superior Específico	0.3831	0.3320

**TABLA 4.** Posiciones medias de los ejes x e y del multidimensional scaling para cada tipo de paso.

En la ubicación espacial de los distintos tipos de estructuras en el MDS (Figura 2) existe una segregación. Este factor es altamente significativo (MANCOVA,  $p < 0,0001$ ). También la localización geográfica de la estructura, representada por el punto kilométrico de la misma (PK), tuvo un efecto significativo en la ordenación final (Tabla 3).

Los valores del eje de abscisas se correlacionan negativamente con la frecuencia de ratones y lacértidos en los pasos, apareciendo también en la parte negativa de este eje los correspondientes a los drenajes circulares y los pasos superiores mixtos (correlación de Spearman,  $p < 0,05$  aplicando Bonferroni; Tabla 4). Por el contrario, los valores del eje x se correlacionan positivamente con la frecuencia de tejón y gato, estando asociados a esta parte del eje las correspondientes a los pasos inferiores mixtos y los drenajes adecuados.

Los valores del eje de ordenadas se correlacionaron positivamente en el caso del grupo de lagomorfos, asociados a pasos específicos superiores e inferiores. Finalmente, la frecuencia de zorros y cánidos se correlacionó de forma positiva con las posiciones del eje x, y de forma negativa con las posiciones del eje y, donde aparecen los pasos inferiores mixtos.

En relación con el gradiente geográfico, la frecuencia de lagomorfos y ratones se correlaciona negativamente con el valor de los p.k. del gradiente oriental-occidental de la autovía (correlación de Spearman,  $p < 0,01$ ), al contrario que los tejones, aunque en este caso sólo fuese marginalmente significativa ( $p = 0,019$ ; aunque  $P > 0,05$  cuando se aplica la corrección de Bonferroni).

### 3.3. SELECCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS POR LOS VERTEBRADOS: PATRONES INTERESPECÍFICOS

El análisis específico de la utilización de las estructuras muestra un uso diferencial de los diferentes tipos de pasos en ocho de las especies/grupos faunísticos (test de Kruskal Wallis,  $p < 0,01$  tras la corrección secuencial de Bonferroni; Tabla 5).

Las tres especies de ungulados registradas, ciervo, corzo y jabalí utilizaron preferentemente, casi de forma exclusiva los pasos específicos, tanto superiores como inferiores. Por el contrario, micromamíferos y cánidos, aunque usaron todos los tipos de pasos, cruzaron la vía principalmente por pasos de tipo mixto.

Los micromamíferos utilizaron preferentemente drenajes circulares y pasos superiores mixtos, mientras que los cánidos cruzaron preferentemente por pasos inferiores y superiores mixtos.

Lagomorfos y zorros usaron predominantemente las estructuras de tipo amplio, tanto pasos inferiores como superiores, independientemente de la especificidad del diseño. Finalmente, el tejón cruzó mayoritariamente por drenajes adecuados y pasos inferiores, tanto específicos como mixtos.

Especies	H	p
Erizo	9,612	0,087
Lirón careto	1,690	0,890
Ardilla	6,063	0,300
Turón	7,745	0,171
Tejón	18,279	<b>0,003</b>
Gineta	3,706	0,593
Zorro	29,845	<b>&lt;0,001</b>
Corzo	26,484	<b>&lt;0,001</b>
Ciervo	21,655	<b>&lt;0,001</b>
Jabalí	51,325	<b>&lt;0,001</b>
Grupos faunísticos		
Anuros	3,573	0,612
Lacértidos	12,162	0,033
Ofidios	8,075	0,152
Micromamíferos	34,832	<b>&lt;0,001</b>
Ratas	3,090	0,686
Ratas de agua	10,166	0,071
Lagomorfos	39,944	<b>&lt;0,001</b>
Mustélidos pequeños	10,577	0,060
Mústelidos medianos	5,879	0,318
Gatos (Felis sp.)	3,228	0,665
Cánidos (Canis sp.)	30,098	<b>&lt;0,001</b>

**TABLA 5.** Resultado de la comparación de la utilización de los diferentes tipos de estructuras de la autovía A-52 por cada especie. Se muestran los valores de Heterogeneidad y los valores de probabilidad (p) del test Kruskal Wallis (N: 113 y g.l.: 5), marcándose en negrita los que resultan significativos tras aplicar la corrección secuencial de Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

## 4. DISCUSIÓN

Entre los diversos aspectos a destacar de este estudio, sin duda el más relevante es la incuestionable utilidad de las estructuras de paso funcionales como medida correctora para los pasos de fauna. Utilidad que no sólo se ha hecho patente en aquellas estructuras específicamente diseñadas para la fauna sino que se extiende a todos los tipos de estructuras transversales existentes, actuando en conjunto como forma complementaria en la mitigación del efecto barrera de las infraestructuras viarias (Mata *et al.*, 2005). Sin embargo, hasta el momento, los estudios en torno a estas medidas correctoras se han centrado casi exclusivamente en pasos específicos (ver la revisión de Forman *et al.*, 2003).

El número de estudios en el que se consideran las estructuras transversales inherentes a la propia vía es aún reducido, pese a la destacada función de estas estructuras, sobre todo para las especies de menor tamaño (Yanes *et al.*, 1995; Rodríguez *et al.*, 1996).

La consistencia de estos resultados se ve respaldada tanto por el elevado tamaño muestral, con 113 estructuras controladas, como por el hecho de que prácticamente todas las espe-

cies de vertebrados terrestres, inventariadas por Palomo y Gisbert (2002) en la zona de estudio, han utilizado las diferentes estructuras transversales a la autovía, a excepción de la nutria. La detección de nutrias se encuentra supeditada a la imposibilidad de controlar viaductos u otro tipo de pasos inferiores por los que discurren arroyos o ríos, que es por donde cabría esperar que la nutria cruzara, dados sus hábitos acuáticos. No obstante, en otras áreas geográficas sí se ha llegado a detectar la nutria haciendo uso de pasos inferiores específicos (Rosell y Velasco, 1999; C. Mata, datos inéditos).

Otro aspecto relevante de los resultados es el uso diferencial que hacen las especies de los distintos tipos de estructuras transversales de la autovía. Este patrón general de selección está marcado por una relación directa entre el tamaño del animal y las dimensiones del paso utilizado (Ng *et al.* 2004). Así, las especies de menor tamaño, tales como micromamíferos, anfibios, reptiles y pequeños mustélidos, utilizaron con mayor frecuencia pasos de dimensiones más reducidas y más abundantes como son los drenajes, circulares o adecuados; tales resultados se muestran en consonancia con estudios previos (McDonald y St Clair, 2004). En cambio, las especies de tamaño medio y grande (tales como liebre, conejo, zorro, gato, perro, lobo) y el conjunto de ungulados utilizaron preferentemente estructuras inferiores o superiores más amplias.

Otras especies no responden a esta relación y se muestran influidas por otros factores de comportamiento, como es el caso del erizo, que pese a su pequeño tamaño selecciona pasos inferiores amplios, y del tejón, que hace un uso preferente de los pasos inferiores a la autovía sin importar el tamaño de éstos, hecho que concuerda con los datos obtenidos por Broekhuizen *et al.* (1986).

Las diferencias en la identidad de los vertebrados que cruzan las carreteras por distintos tipos de pasos se deben, en parte, a la variación de la composición faunística a lo largo del trazado de la vía. Variación que está ligada a los diferentes hábitats atravesados por la infraestructura, y que se pone de manifiesto de forma más evidente en los extremos del trazado.

En los primeros kilómetros de la autovía se detectaron, en mayor número de ocasiones, lagomorfos y micromamíferos haciendo uso de las estructuras. Estos primeros kilómetros del trazado transcurren por parajes donde dominan los espacios abiertos (principalmente cultivos) y con una escasa cobertura vegetal, constituyendo por ello un hábitat favorable para estas especies, especialmente para liebres y diferentes especies de micromamíferos.

Por contra, en los kilómetros finales de la autovía, cuyo trazado discurre por áreas más boscosas, se detecta en más ocasiones la presencia de tejones haciendo uso de los pasos, dado que es una especie más común en este tipo de hábitats.

Otro de los aspectos a resaltar es la baja frecuencia con la que ciervos, corzos y jabalíes han hecho uso de las estructuras transversales a la vía, aún tratándose todas ellas de especies abundantes en la zona de estudio. Estas tres especies de ungulados utilizaron de forma exclusiva pasos amplios y, en su mayoría, específicamente diseñados para la fauna (fotografía 4). La relevancia de la amplitud de las estructuras para favorecer el paso de los ungulados ha sido puesta de manifiesto por numerosos autores (Veenbass y Brandjes, 1999), si bien existen datos de que algunos usan incluso túneles relativamente estrechos (Reed *et al.*, 1975). La mitigación del efecto barrera para estos ungulados es compleja, debido a que, prácticamente, sólo pasan por los pasos específicos y entre éstos, solo por aquellos con condiciones idóneas, es decir, pasos con una localización óptima y de cuidada revegetación. Por todo ello, para disminuir el efecto barrera se hace imprescindible



FOTOGRAFÍA 5. Ciervo.

la instalación de pasos específicos, especialmente para aquellas especies más recelosas, tales como los ungulados o el gato montés, cuyo único registro obtenido fue en un paso inferior específico. Por otra parte, la experiencia internacional muestra que los pasos específicos son los más efectivos para muchas especies del máximo interés de conservación (Foster y Humphrey, 1995; Clevenger y Waltho, 2005).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones más importantes que se pueden extraer de este estudio son, en primer lugar, la complementariedad de los diferentes tipos de estructuras para reducir el efecto barrera de las infraestructuras viarias. En otras palabras, conjuntamente con las estructuras funcionales propias a la vía se deben instalar estructuras adecuadas y de diseño específico para la fauna. Además la adecuación de estructuras no supone un gran incremento en el coste de las mismas y sin embargo, contribuyen notablemente a incrementar la permeabilidad de la vía. En segundo lugar, conviene resaltar el importante papel ejercido por los pasos diseñados específicamente para la fauna, en concreto los realizados para aquellas especies más reticentes a utilizar las estructuras transversales a la vía.

En líneas generales y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se sugiere el establecimiento de pasos específicos y la adecuación de estructuras amplias cada 3- 5 km, cuando la vía atraviese masas boscosas o de monte (zonas nada o escasamente aradas) donde los inventarios de fauna constaten la presencia de grandes mamíferos con amplias áreas de campo. Los pasos superiores se proyectarán en tramos de la vía que discurran en trinchera, allí donde el terreno anejo a los estribos esté ligeramente más elevado que la estructura de paso para que los animales tengan un amplio horizonte de visión. Para los pasos específicos inferiores se intentará aprovechar por continuidad los pasos de restitución de cauces de arroyos y ríos, sobredimensionándolos cuando sea posible.

Cuando las especies son de tamaño medio y pequeño, se considera que la conexión entre ambos lados de la vía puede ser favorecida mediante la adecuación de drenajes y otras estructuras funcionales cada 1- 1,5 km. En el caso de que existan humedales en las proximidades de la vía, a estos terrenos se asociarán pasos de fauna, específicos o adecuados cuando sea posible, para garantizar el paso de los anfibios en las épocas de reproducción, complementando estas medidas con la utilización de vallas de cerramiento de un calibre en su base (primeros 50 cm) que impida el paso de este grupo de animales.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Ballon, P. (1985). Bilan technique des aménagements réalisés en France pour réduire les impacts des grandes infrastructures linéaires sur les ongulés gibiers. *17<sup>e</sup> Congrès De L'Union Internationale Des Biologistes Du Gibier*. 1985. Francia. pp.679-689 .
- Bang, P. y Dahlström, P. (1997). *Huellas y señales de los animales de Europa*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Broekhuizen, S.; van't Hoff, C.A.; Maaskamp, F. y Pauwels, T. (1986). The importance of hedgerows for leading migrating badgers *Meles meles* (L., 1758). *Lutra*, 29: 54-65.
- 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
- Foster, M.L. y Humphrey, S.R. (1995). Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, 23: 95-100.
- Lodé, T. (2000). Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *AMBIO*, 29: 163-166.
- 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.
- McDonald, W. y St Clair, C. C. (2004). Elements that promote highway crossing structure use by small mammals in Banff National Park. *Journal of Applied Ecology*, 41: 82-93.
- Ministerio de Fomento (2004). Anuario Estadístico 2003.
- 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: 499-507.
- Palomo, L.J. y Gisbert, J. (2002). *Atlas de los Mamíferos terrestres de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU, Madrid, 564 pp.
- Reed, D.F.; Woodward, T.N. y Pojar, T.M. (1975). Behavioral response of mule deer to a highway underpass. *Journal of Wildlife Management*, 39: 361-367.
- Rice, W.R. (1989). Analyzing tables of statistical tests. *Evolution* 43, 223-225.
- Rodríguez, A.; Crema, G. y Delibes, M. (1996). Use of Non-wildlife Passages across a High Speed Railway by Terrestrial Vertebrates. *Journal of Applied Ecology*, 33: 1527-1540.
- Rosell, C. y Velasco Rivas, J.M. (1999). *Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient, Catalunya.
- Veenbaas, G. y Brandjes, G.J. (1999). The use of faunapassages along waterways under motorways. *ICOWET III. The International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*. September 1999. Florida. pp.7 .
- 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.