

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-Levante¹

ESTHER JUÁREZ SANZ (*), CRISTINA MATA ESTACIO (**), MANUEL G. SÁNCHEZ-COLOMER (***), JUAN E. MALO ARRÁZOLA (****), JESÚS HERRANZ BARRERA (*****) y FRANCISCO SUÁREZ CARDONA (*****)

RESUMEN El notable incremento que ha experimentado en las últimas décadas la red viaria española, ha llevado a que algunas de las nuevas infraestructuras se construyan de forma más o menos paralela a otras ya existentes, constituyendo los denominados corredores de infraestructuras. Ante esta situación, y en un contexto en el cual cada vez cobra mayor importancia la necesidad de minimizar el impacto ambiental de estos proyectos, se plantean nuevos interrogantes destinados a entender cómo afectan las nuevas construcciones sobre la fauna del entorno o si la presencia de una nueva vía podría condicionar la efectividad de las medidas correctoras implementadas en la infraestructura existente.

Con el objetivo de tratar de resolver parte de estas incógnitas se planteó el presente estudio. Para ello, se seleccionó un tramo de la autovía A-40 en Cuenca, en cuyo entorno estaba planificada la construcción de la línea ferroviaria de alta velocidad (LAV) Madrid-Levante. A lo largo de cuatro campañas, completando un ciclo estacional anual, se realizó el seguimiento de la utilización por la fauna de un total de 30 estructuras transversales a la autovía A-40. Se emplearon dos métodos de control: el registro de huellas y un sistema fotográfico automático. El estudio se inició simultáneamente a la fase de licitación de la LAV y finalizó en la fase de obras, lo cual permitió comparar los resultados previos a las obras con los obtenidos durante dicha fase.

Los resultados no mostraron un efecto significativo de las obras de la LAV sobre las especies que utilizaban las estructuras de la autovía A-40. Sin embargo, los factores de diseño como el tipo de paso y la localización de los mismos fueron los más determinantes.

MONITORING OF THE USE OF CROSSING STRUCTURES BY LAND VERTEBRATES ON THE A-40 HIGHWAY, BEFORE AND DURING THE CONSTRUCTION OF THE HIGH-SPEED RAILWAY LINE MADRID-LEVANTE

ABSTRACT The important increment in the number of constructions in the Spanish transportation network has resulted in the creation of new infrastructures running more or less parallel to the existing ones, leading to what is known as infrastructure corridors. In view of this situation, and in a context where the need to minimize the environmental consequences of these constructions is more and more important, new questions appear in order to get to understand how new constructions may affect wildlife in their natural environment and whether the existence of a new infrastructure could influence the effectiveness of the corrective measures already implemented in the existing infrastructure.

This study was conceived with the goal of finding solutions to some of these problems. To do so, we focused on a stretch of the A-40 highway in Cuenca, where the construction of the high-speed railway line (LAV in Spanish) Madrid-Levante (Cuenca) was planned. Throughout four campaigns –completing an annual seasonal cycle– the monitoring of wildlife use of 30 crossing structures the A-40 highway was carried out. Two control methods were used: track data and an automatic photography system. The study was started while the LAV was at the tender stage and it concluded with the works still being performed. This fact allowed making a comparison between the results prior to the beginning of the works and the results obtained during such works.

The results did not show that the works on the LAV had a significant impact on the species using the structures of the A-40 highway. Nevertheless, design factors such as the type of passage and its location were the most determining.

Palabras clave: Fragmentación del hábitat, Autovía, Línea de tren de alta velocidad, Pasos de fauna, Ecología de carreteras, Corredor de infraestructuras

Keywords: Habitat fragmentation, Highway, High speed railway, Wildlife passages, Road ecology, Transport corridor.

(*) Licenciada en Biología. Área de Ingeniería Ambiental. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX – Ministerio de Fomento. E-mail: esther.juarez@cedex.es

(**) Doctora en Ciencias Biológicas - Profesora Asociada. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. E-mail: cristina.mata@uam.es

(***) Doctor en Ciencias Biológicas - Jefe de Área. Área de Ingeniería Ambiental. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX – Ministerio de Fomento. E-mail: manuel.colomer@cedex.es

(****) Doctor en Ciencias Biológicas - Doctor en Ciencias Biológicas - Profesor Titular. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. E-mail: je.malo@uam.es

(*****) Doctor en Ciencias Biológicas - Profesor Contratado Doctor. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid. E-mail: jesus.herranz@uam.es

(***** Doctor en Ciencias Biológicas. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.

(1) Este artículo está dedicado a la memoria de Francisco Suárez.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas asociados a la construcción de nuevas infraestructuras es el efecto barrera sobre los vertebrados terrestres, especialmente asociado a las vías de alta capacidad valladas para evitar el acceso de los animales a la infraestructura. Tanto en las autovías modernas como en las líneas de alta velocidad (LAV) se realizan actividades de conservación para el mantenimiento o reposición del vallado deteriorado con lo que esta barrera se mantiene de manera casi constante a lo largo del tiempo. Esta fragmentación del hábitat y su posible efecto barrera posterior, puede contribuir al declive o extinción de poblaciones de fauna a escala local, por ello la construcción de nuevas infraestructuras requiere estudios para detectar los cambios en las poblaciones y minimizar el impacto sobre el ecosistema (Lodé, 2000). Además, son muy escasos los estudios que analizan los efectos sinérgicos o acumulativos que pudieran producirse con otras infraestructuras planificadas en el entorno (Krausman y Harris, 2011).

Por ello, este estudio se centra en el seguimiento de una infraestructura lineal teniendo en cuenta la construcción de una nueva, planificada en el Plan Estratégico de Infraestructuras de Transporte 2005-2020 (PEIT) (Ministerio de Fomento, 2005).

Los principales objetivos de esta investigación son analizar los patrones generales de uso de las estructuras transversales de la autovía A-40, por parte de las diferentes especies de vertebrados terrestres en la zona de estudio, tal y como se ha realizado en diferentes estudios anteriores (Yanes *et al.*, 1995; Rodríguez *et al.*, 1996; Mata *et al.*, 2005). Y por otro lado, si dicha utilización se ve afectada por la construcción en paralelo de la LAV Madrid-Levante, ya que esta aproximación permite evaluar cómo afecta la construcción de otra infraestructura en la efectividad de unas medidas correctoras implementadas en una infraestructura previa.

2. METODOLOGÍA

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, en la provincia de Cuenca, en una región donde confluyen tres infraestructuras lineales; la

carretera nacional N-400, la autovía A-40 y la LAV Madrid-Levante.

Presenta un uso forestal arbolado y ralo, con zonas de monte público y privado en los altos de Cabrejas, y un uso parcheado de matorral, pastizal o cultivo agrícola cercanos a los cauces principales de los ríos Chillarón y Cigüela. La vegetación es de tipo subesclerófila. En las zonas arboladas predominan el pino salgareño (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii*) y el pino carrasco (*Pinus halepensis*) con la encina (*Quercus ilex*) y el quejigo (*Quercus faginea*) (Banco de Datos de la Naturaleza, 2006). La distribución de las especies es heterogénea, ya que presenta manchas de vegetación de coníferas puras y zonas en mosaico de frondosas y coníferas. Además, el pino salgareño es sustituido por el pino resinero (*Pinus pinaster*) en terrenos silíceos.

El objetivo central del estudio son los vertebrados terrestres no voladores, aunque también se han detectado especies voladoras como aves y murciélagos (Figura 1). Se ha elaborado un listado con la fauna potencial del área de estudio teniendo en cuenta los atlas de distribución existentes (Blanco, 1998; Barbadillo *et al.*, 1999; Palomo *et al.*, 2007). Destacan especies como el corzo (*Capreolus capreolus*), el jabalí (*Sus scrofa*), la nutria (*Lutra lutra*), la comadreja (*Mustela nivalis*), la garduña (*Martes foina*) y el tejón (*Meles Meles*), entre otros.

Infraestructuras lineales

El tramo seleccionado para estudiar la permeabilidad para estos vertebrados en la autovía A-40 cuenta con 26 km de longitud entre el municipio de Naharros (p.k. 276+900) y Cuenca (p.k. 302+900), y según los datos del Mapa de tráfico de 2008, en el momento del estudio presentaba una Intensidad Media Diaria (IMD) de 5780 vehículos/día.

Con el Plan Estratégico de Infraestructuras 2005-2020 del Ministerio de Fomento, se planificó la construcción de varias de líneas de tren de alta velocidad (300 km/h). Una de ellas es la línea de alta velocidad Madrid - Castilla-La Mancha - Comunidad Valenciana - Región de Murcia (Madrid-Levante), de la cual coinciden con el tramo de estudio de la autovía A-40 unos 27,7 km desde el p.k. 161+600 hasta el viaducto sobre el río Júcar en el p.k. 189+300 de la LAV.

Durante el estudio el tramo de la LAV se encontraba en fase de licitación y finalizó en fase de obras. El condicionado



FIGURA 1. Murciélago orejudo (*Plecotus austriacus*) en un paso inferior de la autovía A-40.

FIGURA 2. Área de estudio, en primer plano la autovía A-40 y en segundo plano las obras de construcción de la LAV Madrid-Levante.



de la declaración de impacto ambiental del tramo de la LAV tenía como objetivo disminuir la fragmentación del territorio, la ocupación del suelo y el efecto barrera, es decir, reducir el impacto acumulado de la LAV, de manera que el trazado se proyectó de forma que discurriese lo más próximo y paralelo posible al de la autovía A-40 (Figura 2). La LAV se encuentra en servicio desde principios de 2011 y el administrador de infraestructuras ferroviarias (ADIF) es el encargado de su mantenimiento y explotación.

2.2. SEGUIMIENTO

El estudio se inició en verano de 2006, con una primera campaña, previa al inicio de las obras de la LAV, que fue denominada como *seguimiento control*.

Posteriormente se repitió el seguimiento en la autovía A-40, en diferentes estaciones del año para poder estudiar la variación estacional; así como, analizar el posible efecto de las obras de la LAV sobre los patrones de uso de las estructuras transversales.

La siguiente campaña fue en invierno de 2006-2007, cuando comenzaron los primeros movimientos de tierras y tareas de desbroce para la construcción de la LAV. Las dos últimas campañas fueron en otoño de 2007 y en primavera de 2008, cuando la LAV se encontraba en fase de obras.

Además el área de estudio se dividió en dos tramos en función de la distancia de la autovía A-40 al trazado de la LAV (Figura 3). El primer tramo consta de 10,4 km que discurren entre los municipios de Naharro y Cabrejas y se sitúa a menos de 500 m de las obras, en este tramo dominan los paisajes abiertos con cultivos y bosques dispersos. El segundo tramo con 11,95 km comienza en Cabrejas y termina en Jábaga, todas sus estructuras quedan a más de 950 m de las obras de la LAV, la vegetación en este tramo es más densa, siendo dominantes las formaciones de bosque mixto de quejigar, encinar y pinar.

Para este estudio se han inventariado un total de 76 estructuras transversales en la autovía A-40 y 82 estructuras transversales en la LAV con el fin de caracterizar todos los po-

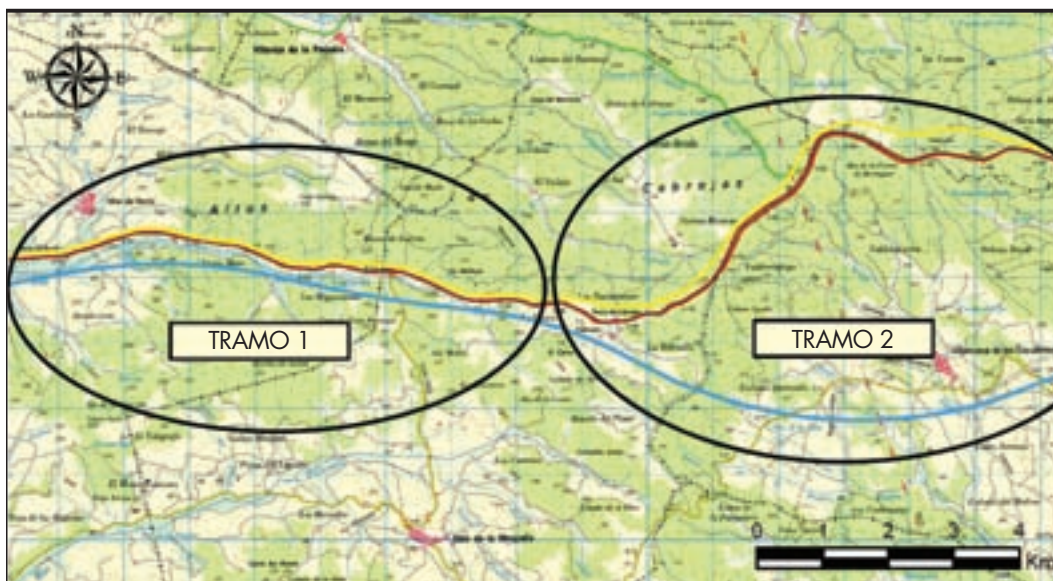


FIGURA 3. Área de estudio y esquema con los dos tramos seleccionados. Autovía A-40 (línea amarilla), línea de tren de alta velocidad Madrid-Levante (línea azul).

Estructuras transversales	Autovía A-40	LAV Madrid-Levante
Drenajes	53	42
Pasos inferiores	17	17
Pasos superiores	6	8
Viaductos	–	10
Túneles	–	5
TOTAL	76	82

TABLA 1. Número de estructuras transversales inventariadas por tipología en las dos infraestructuras lineales del área de estudio.

sibles lugares de paso para la fauna (Tabla 1). Para ello, se han utilizado una serie de variables descriptivas, por un lado del entorno en el que se encuentran (vegetación circundante, localización geográfica), y por otro, de la propia estructura (dimensiones, accesos, materiales de construcción, etc.).

Se ha utilizado el índice de abertura como variable informativa del efecto túnel de la estructura (Olbrich, 1984), calculado a partir de las dimensiones del paso (sección de la embocadura/ longitud).

Para la autovía A-40 obtenemos un valor medio de 2,92 estructuras por km lineal de autovía, muy similar al de la LAV Madrid-Levante con 2,96 estructuras por km en el área de estudio.

En la autovía A-40 la mayor parte de las estructuras están destinadas originalmente a la restitución de carreteras y caminos, así como al drenaje de la calzada, mientras que en la LAV encontramos estructuras con mayor permeabilidad como son los viaductos, túneles y pasos sobredimensionados adecuados para la fauna.

De las estructuras inventariadas se seleccionaron para su seguimiento un total de 30 estructuras en la autovía A-40, 15 en el tramo cercano a las obras de la LAV y otras 15 en el tramo alejado del trazado de la LAV, con el fin de obtener una muestra representativa de los diferentes tipos de estructuras que existen en la autovía A-40.

El método de control utilizado fue el registro de huellas mediante marmolina (Yanes *et al.*, 1995) y un sistema fotográfico activado por un sensor de infrarrojos utilizado en otros estudios para el seguimiento de los pasos de fauna (Mata *et al.*, 2006). En cada campaña se realizó el seguimiento de cada estructura, hasta completar 15 días válidos para los dos métodos de control conjuntamente.

2.3. TRATAMIENTO DE DATOS

En una primera aproximación, se ha calculado el índice de uso (I.U.) de cada una de las especies de vertebrados, para estudiar los patrones generales de uso en cada tipo de estructura de paso. Este índice se define como:

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

Donde: n_{ij} es el número de observaciones-día para una especie o grupo faunístico (i) en un tipo de estructura (j); e_j es el número total de estructuras (j); N_i es el número de observaciones-día para una especie o grupo faunístico en el total de estructuras y E es el número total de estructuras controladas en el estudio (Mata *et al.*, 2006).

Posteriormente, se ha analizado el número total de especies que utilizan las distintas estructuras transversales de la autovía A-40. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis de la varianza mediante un MANOVA (STATISTICA 6.1, StatSoft, 2002), tomando como unidad de análisis la riqueza faunística registrada en cada una de las campañas e incluyendo como factores, por un lado, el tramo en el que la estructura transversal está localizada y por otro, la tipología de ésta, distinguiendo a su vez tres categorías: drenaje, paso inferior y paso superior. No se ha podido diferenciar entre que un paso este diseñado específicamente para la fauna o no, puesto que en el tramo de autovía seleccionado, sólo hay un paso inferior específico y ningún paso superior específico.

A continuación, teniendo en cuenta solamente las campañas de seguimiento realizadas una vez iniciada la fase de construcción de la LAV, se ha analizado de nuevo la riqueza específica registrada, pero esta vez empleando un análisis MANCOVA (STATISTICA 6.1 StatSoft, 2002), en el cual se ha incluido la distancia a las obras como covariable y se ha retirado por tanto esta diferencia entre tramos.

Finalmente, mediante la utilización de técnicas de análisis multivariante se han caracterizado los patrones generales de las especies que han utilizado las estructuras transversales de la autovía A-40.

La unidad básica de análisis es el número de días en los que ha sido registrada la especie (o grupo faunístico) en un paso, combinando la información procedente de los dos métodos de control: el registro de huellas y el sistema fotográfico. Se ha usado un análisis de correspondencias canónicas basado en ordenaciones, utilizando para ello el paquete estadístico CANOCO 4.5. (ter Braak y Smilauer, 2002). Las variables consideradas para la construcción del modelo son:

- La tipología de la estructura (Paso superior, Drenaje o Paso inferior).
- La localización o tramo de estudio en función a la distancia a la LAV Madrid-Levante.
- La estacionalidad, representada por la época del año en la que se llevó a cabo la campaña de seguimiento, cubriendo el ciclo anual completo.
- Y la actividad humana, representada por la suma de registros derivados del tránsito por los pasos de personas a pie, ganado y vehículos.

3. RESULTADOS

3.1. USO DE LAS ESTRUCTURAS DE PASO

La interpretación conjunta de los datos, teniendo en cuenta la variación estacional, la proximidad de las obras de la LAV y como situación de partida o *seguimiento control* la primera campaña en verano de 2006, nos revelan qué especies utilizan las estructuras transversales de la autovía A-40 y qué variables son más importantes.

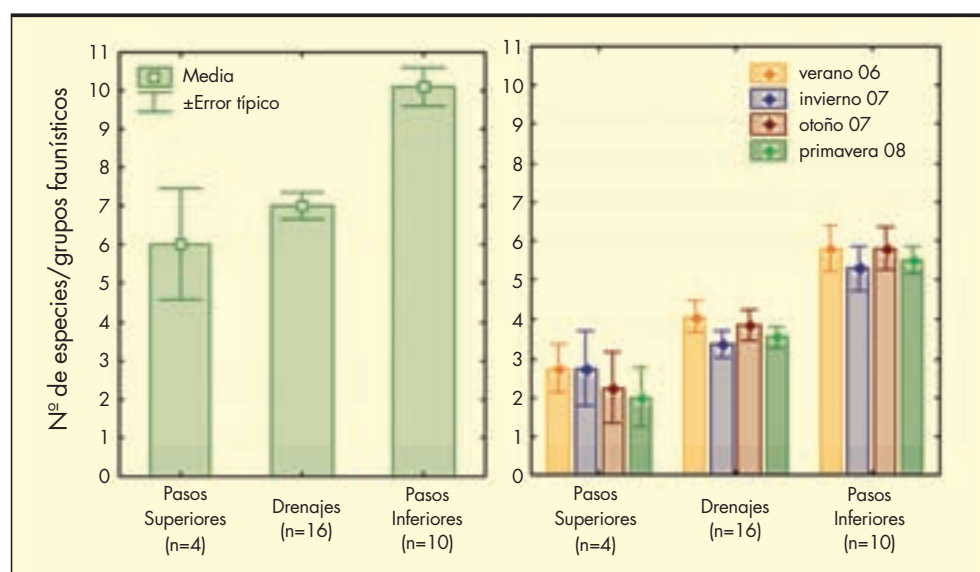
Al término de las cuatro campañas de seguimiento se ha obtenido una media de 0,99 registros por día y paso. De las 20 especies o grupos faunísticos registrados, los micromamíferos son el grupo que con mayor frecuencia ha utilizado las distintas estructuras. Con frecuencias algo menores se han registrado gatos domésticos, zorros, tejones y garduñas; el resto de las especies han mostrado frecuencias inferiores (Tabla 2).

La riqueza específica registrada en las distintas estructuras transversales de la autovía A-40 refleja diferencias entre los distintos tipos de pasos, las cuales parecen mantenerse independientemente de la época del año (Figura 4).

	Pasos Superiores n= 4	Drenajes n= 16	Pasos Inferiores n= 10	Media
Especies				
Erizo común (<i>Erinaceus europaeus</i>)	–	–	0,003	0,001
Lirón careto (<i>Eliomys quercinus</i>)	–	–	0,002	0,001
Ardilla roja (<i>Sciurus vulgaris</i>)	–	0,018	0,038	0,022
Ratas de agua (<i>Arvicola sapidus</i>)	–	0,013	0,003	0,008
Comadreja (<i>Mustela nivalis</i>)	–	0,014	–	0,007
Garduña (<i>Martes foina</i>)	0,021	0,097	0,128	0,097
Tejón (<i>Meles meles</i>)	–	0,123	0,098	0,098
Nutria (<i>Lutra lutra</i>)	–	0,001	–	0,001
Gato doméstico (<i>Felis catus</i>)	0,029	0,114	0,172	0,122
Gato montés (<i>Felis silvestris</i>)	–	0,006	0,010	0,007
Zorro rojo (<i>Vulpes vulpes</i>)	0,029	0,042	0,235	0,104
Perro (<i>Canis familiaris</i>)	0,013	0,008	0,087	0,035
Corzo (<i>Capreolus capreolus</i>)	–	–	0,003	0,001
Liebre (<i>Lepus granatensis</i>)	0,008	0,003	0,075	0,028
Conejo (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)	–	–	0,002	0,001
Grupos faunísticos				
Anuros	0,008	0,002	0,010	0,006
Lacértidos	0,025	0,038	0,015	0,028
Micromamíferos	0,104	0,468	0,287	0,359
Ratas	0,004	0,023	0,008	0,016
Lagomorfos	0,042	0,005	0,108	0,044

TABLA 2. Media de registros diarios por estructura de las especies y grupos específicos teniendo en cuenta las cuatro campañas de seguimiento realizadas en la autovía A-40. n: número de estructuras controladas.

FIGURA 4. Datos medios de la riqueza faunística detectada mediante el registro de huellas y/o el sistema fotográfico por cada uno de los tipos de estructura en la autovía A-40. A la izquierda está representada la riqueza total y a la derecha desglosada por campañas.



FACTOR	MC	F	g.l.	P
Tipo	16,089	9,333	2	0,001
Tramo	18,837	10,926	1	0,003
Tipo*Tramo	2,889	1,676	2	0,208

TABLA 3. Resultados del MANOVA sobre el efecto del tipo de paso y el tramo en el que se localiza la estructura. g.l.: grados de libertad. En negrita se muestran los valores significativos.

Un análisis en mayor profundidad de las diferencias en cuanto al número total de especies que utilizan las estructuras, ha reflejado el papel preponderante que desempeña el factor tipo de paso, así como la localización del paso dentro de los dos tramos distinguidos (Tabla 3). Por un lado, el número de especies que utilizan los pasos inferiores es significativamente mayor respecto a los otros dos tipos. Asimismo, las estructuras localizadas en el tramo de Cabrejas-Jábaga (Tramo 2) son utilizadas por un número de especies significativamente mayor en comparación con el tramo 1 de Naharros-Cabrejas.

Las diferencias encontradas entre tramos podrían deberse a la afección de las obras del tren de alta velocidad. No obstante, para comprobar dicho efecto es necesario caracterizar las posibles diferencias entre tramos antes del inicio de las obras, para ver si éstas se mantienen o no en las siguientes campañas. En la Figura 5, se observan las diferencias entre tramos antes del inicio de las obras.

Estas diferencias entre zonas, se asociaban con la “distancia a la obra” antes incluso de que ésta comenzase ($F=3,82$; $g.l.=2$; $p=0,023$). Es decir, los pasos más alejados a la zona donde se proyectó el trazado de la LAV, presentaban ya al inicio de la investigación un número ligeramente mayor de especies ($\beta \approx 0,001$) sin que las obras hubiesen comenzado, esto equivaldría a una especie más cada 1.000 m de distancia a las obras.

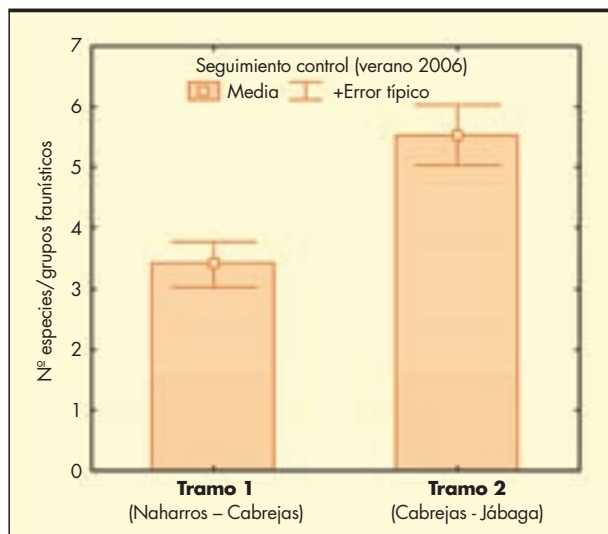


FIGURA 5. Datos medios de la riqueza faunística detectada por tramo en la autovía A-40 durante el seguimiento control anterior al inicio de las obras de la LAV Madrid-Levante.

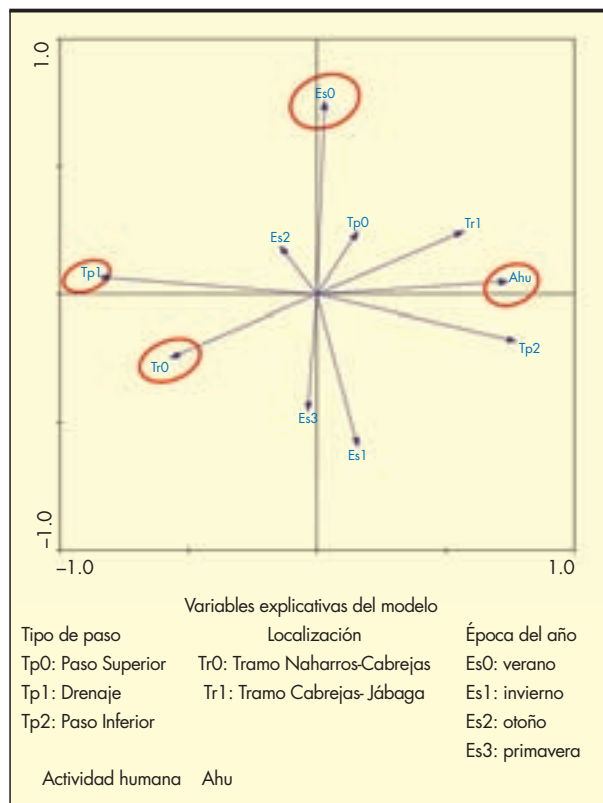


FIGURA 6. Modelo completo del análisis de correspondencias canónicas, incluye todas las variables independientes. En rojo se señalan las variables significativamente más explicativas.

Por tanto, el que este parámetro resulte también positivo, y de orden de magnitud similar (β positivo, pero menor de 0,001) en las tres campañas de campo posteriores al inicio de las obras, debe entenderse que es un reflejo de la mayor riqueza de especies del entorno del tramo 2, no pudiendo adscribirse a un efecto de la obra.

3.2. PATRONES DE SELECCIÓN DE LOS VERTEBRADOS

Con el fin de revelar posibles patrones generales de uso de las estructuras por las especies de vertebrados terrestres, se ha realizado un análisis multivariante de correspondencias canónicas basado en ordenaciones. En primer lugar se ha construido un modelo teniendo en cuenta una serie de variables independientes de interés (Figura 6). Posteriormente, se han seleccionado las variables más explicativas con las que se ha generado un nuevo modelo, con el que finalmente interpretar los posibles patrones.

El patrón general de utilización de las distintas estructuras transversales por parte de las especies, tal y como muestran los resultados (Figura 7), puede describirse distinguiendo:

- Especies que utilizan preferentemente los drenajes (Tp1).
- Especies o grupos faunísticos registradas con mayor frecuencia en las estructuras situadas en el tramo de Naharros-Cabrejas cercano a la LAV Madrid-Levante (Tr0).
- Especies que aparecen asociadas al periodo estival (Es0).
- Especies o grupos que se muestran influidas por la actividad humana (Ahu).

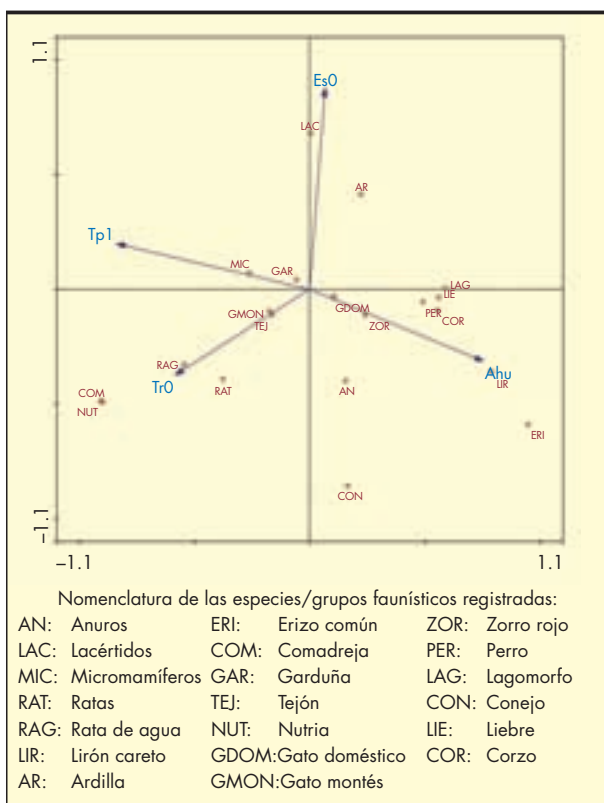


FIGURA 7. Modelo reducido del análisis de correspondencias canónicas, incluye las cuatro variables independientes que resultaron significativas en el modelo completo.

El modelo finalmente construido con estas variables presenta un buen ajuste, llegando a explicar aproximadamente el 30% de la varianza ($F=4,28; p<0,001$).

Analizando la configuración espacial de las especies y las variables independientes, tal y como queda representada en la Figura 7 es posible diferenciar determinados patrones:

Garduñas y micromamíferos aparecen asociados a la tipología denominada *Drenaje*, la cual incluye estructuras tanto de sección circular como de marco (Figura 8). Prueba de ello, es que ambos han sido detectados de forma mayoritaria en este tipo de estructuras (70% de los micromamíferos y el 53% de las garduñas). En contraposición, aparecen especies que se muestran asociadas a los pasos inferiores, tales como zorro rojo, liebre, corzo, erizo común y lirón careto. Todas ellas los han utilizado preferentemente o de forma exclusiva, con más del 75% de los registros en este tipo de estructuras.

Especies como rata de agua, rata, comadreja y nutria pueden caracterizarse de forma asociada al primer tramo situado entre Naharros y Cabrejas cercano a la LAV y área por donde discurre el arroyo Cigüela entre cultivos y zonas de matorral, en estructuras influenciadas por la tipología *Drenaje* con baja actividad humana. (Figura 9).

Lacértidos y ardillas se muestran asociadas al periodo estival. En ambos casos más del 60% de los registros se han obtenido en la campaña de seguimiento realizada en verano de 2006

En relación con la actividad humana registrada en los pasos, se observa un incremento de registros de gato doméstico y perro en las estructuras donde se han producido un mayor número de registros derivados del tránsito de personas, ganado y/o vehículos. A priori, puede parecer que corzo, lirón careto y erizo común se asocian a estructuras con alta actividad humana, pero las únicas estructuras utilizadas por estas especies han sido los pasos inferiores, los cuales han tenido una gran frecuentación humana, y es por esto y por el bajo número de registros de las mismas, por lo que no se han diferenciado más de esta variable.

Por último, especies como gato montés y tejón aparecen asociados a estructuras con niveles bajos de actividad humana. El 92% de los registros de gato montés y el 85% de tejón se han detectado en pasos con menos de 0,1 registros relativos a actividad humana por día (Figura 10).



FIGURA 8. Garduña (*Martes foina*) en un drenaje circular de la autovía A-40.

FIGURA 9. Nutria (*Lutra lutra*) en un drenaje marco de la autovía A-40.

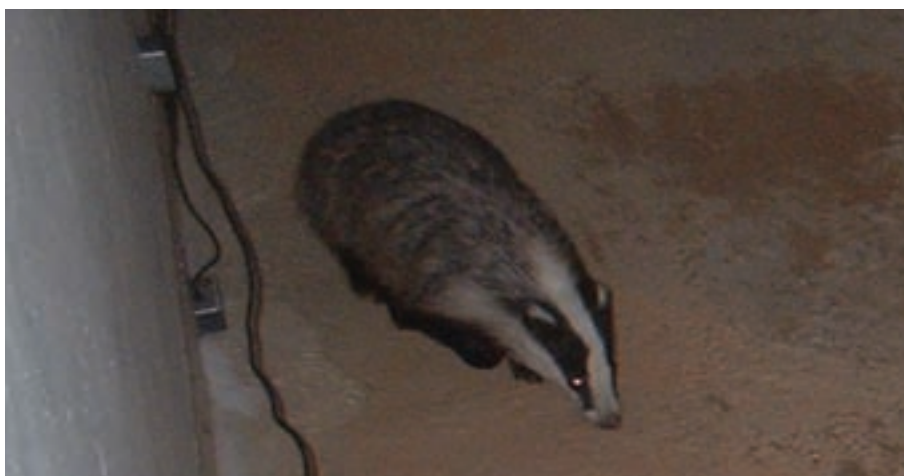


FIGURA 10. Tejón (*Meles meles*) en un drenaje marco de la autovía A-40.

4. DISCUSIÓN

Una vez completado un ciclo anual de seguimiento en la autovía A-40 se ha podido constatar el elevado número de especies que hacen uso de las distintas estructuras transversales. Para el conjunto de éstas se observa un patrón de selección general determinado fundamentalmente por el tipo de paso, la localización del mismo en uno u otro de los tramos diferenciados en este estudio y en menor medida por la actividad humana registrada en los mismos y por la estacionalidad.

Las especies de pequeño tamaño como roedores, así como distintas especies de mustélidos, tales como comadreja, nutria y garduña, han utilizado preferentemente estructuras estrechas como los drenajes, en consonancia con los resultados presentados en estudios previos (Andreassen *et al.*, 1996; McDonald y Cassady 2004; Mata *et al.*, 2006). Las de mayor tamaño, zorros, lagomorfos y corzos han cruzado mayoritariamente por pasos amplios inferiores fundamentalmente mixtos, dado que sólo hay un paso inferior específico en toda la autovía. Estos resultados refuerzan el papel complementario de los distintos tipos de estructuras (Mata *et al.*, 2005).

El seguimiento de las estructuras en cada uno de los dos tramos seleccionados ha mostrado diferencias entre ambos. Estas diferencias existían previamente a la fase de obras y no parecen haberse acentuado con el comienzo de las mismas. Las diferen-

cias encontradas parecen reflejar una mayor riqueza y abundancia de especies en el tramo 2 de Cabrejas a Jábaga. Este tramo discurre por áreas más boscosas y de vegetación más densa, lo que propicia esta mayor densidad respecto al otro tramo de paisajes más abiertos y más intervenido por el hombre.

Respecto a la variación estacional, las diferencias entre las cuatro campañas no han sido muy acusadas, registrándose en la campaña primaveral la mayor riqueza de especies. Excepto en lacértidos y ardillas en los que la estacionalidad ejerce una mayor influencia, cuyos máximos poblacionales se producen durante el estío (Purroy y Varela, 2003).

El efecto de la frecuentación humana sobre el uso de los pasos por la fauna se considera en general negativo (Iuell *et al.*, 2005). La actividad humana registrada en los pasos parece condicionar su utilización por gatos monteses y tejones, mostrando ambas especies un uso preferente de las estructuras con menor actividad humana. Por el contrario, gatos domésticos y perros aparecen asociados a los pasos con mayor frecuentación humana. Resultados en ambos casos esperables, puesto que las primeras dos especies evitan al hombre, mientras que las dos últimas conviven con él.

Hay que destacar el escaso número de registros relativos a cruces de corzo y la ausencia de registros de jabalíes y ciervos, pese a tratarse de especies abundantes en el área de estudio.

Los elementos claves para interpretar la escasa utilización de las estructuras por parte de los ungulados probablemente sean la ubicación y el diseño de las mismas. Una ubicación adecuada de las estructuras es determinante para garantizar su efectividad (Beier y Loe, 1992; Rosell y Velasco, 1999; Forman *et al.*, 2003). No obstante cuando se trata de pasos de carácter mixto, como son la mayoría de los pasos controlados en la autovía A-40 (sólo cuenta con un paso específico para la fauna), la localización de éstos responde a otras necesidades relacionadas con la actividad humana y carecen de una perspectiva ecológica (van der Grift, 1999).

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se pueden extraer de este estudio son, que la utilización de las estructuras transversales de la autovía A-40 por parte de las especies registradas, no parece verse afectada por la ejecución de las obras de la LAV Madrid-Levante, cuyo trazado discurre en paralelo a esta vía en el primer tramo de estudio.

Sin embargo, sí se observa que las especies registradas muestran un patrón de selección general, determinado fundamentalmente por factores como el diseño estructural del paso o la localización espacial del mismo y en menor medida por la estacionalidad y la actividad humana registrada en los mismos.

Por último, esta investigación aporta datos interesantes relativos al periodo anterior y simultáneo a la ejecución de la LAV, los cuales podrían resultar muy valiosos en una investigación futura, ya que la LAV Madrid-Levante está actualmente en plena explotación y se pueden evaluar otros factores derivados de su funcionamiento, además de conseguir analizar o comparar los patrones generales de uso de las estructuras transversales de las especies del entorno, con la situación previa.

6. AGRADECIMIENTOS

Este artículo se enmarca dentro del Convenio de Colaboración para la Asistencia Técnica en Temas de Calidad y Evaluación Ambiental, efectuado entre el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; y se ha podido desarrollar gracias al Grupo de Ecología Terrestre de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y a una beca de formación de personal investigador del CEDEX. Por último, agradecer a la Comunidad de Madrid que junto al Fondo Social Europeo cofinancian al Grupo de Investigación en Ecología y Conservación de Ecosistemas Terrestres de la UAM a través del Programa REMEDINAL (S-0505/AMB/0335 y S-2009/AMB/1783).

7. REFERENCIAS

- Andreassen, H. P., Halle, S. y Ims, R. A. (1996). Optimal Width of Movement Corridors for Root Voles: Not Too Narrow and Not Too Wide. *Journal of Applied Ecology*, **33**: 63-70.
- Banco de Datos de la Naturaleza (2006). Mapa Forestal de España. Escala 1:50.000 MFE50. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Barbadillo, L. J., Lacomba, J. I., Pérez-Mellado, V., Sancho, V. L. F. y López-Jurado. (1999). Anfibios y Reptiles de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. Guía ilustrada para identificar y conocer todas las especies. 419 pp. Editorial Planeta, Barcelona.
- Beier, P. y Loe, S. (1992). A Checklist for Evaluating Impacts to Wildlife Movement Corridor. *Wildlife Society Bulletin*, **20**: 434-440.
- Blanco, J. C. (1998). Mamíferos de España I y II. pp. 457 (I) y 382 (II). Editorial Planeta, S.A., Barcelona.
- Forman, R., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C. R., Heanue, K., Jones, J. A., Swanson, F. J., Turrentine, T. y Winter, T. C. (2003). Road Ecology. Science and Solutions. pp. 481. Island Press, Washington, DC.
- Iuell, B., Bekker, G. J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlavác, V. B., Rosell, C., Sangwine, T., Torslov, N., Wandall, B. y le Maire, E. (2005). Fauna y Tráfico: Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones. Servicio de Publicaciones. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente.
- Krausman, P. R. y Harris, L. K. (2011). Cumulative Effects in Wildlife Management: Impact Mitigation. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Lodé, T. (2000). Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *AMBIO, A Journal of the Human Environment*, **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.
- Mata, C., Hervás, I., Suárez, F., Herranz, J., Malo, J. E., Cachón, J. y Varela, J. M. (2006). Análisis de la efectividad de los pasos de fauna en un tramo de la autovía de las Rías Bajas (A-52). *Ingeniería Civil*, **142**: 89-97.
- McDonald, W. y Cassady, 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 (2005). PEIT Plan estratégico de infraestructuras y transporte 2005-2020. pp. 182. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, Madrid.
- Ministerio de Fomento (2008). Mapa de Tráfico 2008. Centro de Publicaciones. Dirección General de Carreteras, Madrid.
- Olbrich, P. (1984). Study of the Effectiveness of Game Warning Reflectors and the suitability of Game Passages. *Zeitschrift Fur Jagdwissenschaft*, **30**: 101-116.
- Palomo, L., Gisbert, J. y Blanco, J. C. (2007). Atlas y Libro Rojo de los mamíferos terrestres de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SECEM-SECEMU, Madrid.
- Purroy, J. y Varela, J. M. (2003). Guía de los Mamíferos de España. Península, Baleares y Canarias. Lynx Edicions. Barcelona.
- 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, J. M. (1999). Manual de prevenció i correcció dels impactes de les infraestructures viàries sobre la fauna. pp. 95. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient, Catalunya.
- StatSoft, I. (2002). STATISTICA (data analysis software system), version 6.
- Ter Braak, C. y Smilauer, P. (2002). CANOCO Reference Manual and CanocoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). NY, EE.UU.
- Van der Grift, E. A. (1999). Mammals and railroads: impacts and management implications. *Lutra*, **42**: 77-98.
- Yanes, M., Velasco, J. M. y Suarez, F. (1995). Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. *Biological Conservation*, **71**: 217-222.