

---

## Incidencia de los atropellos sobre la fauna vertebrada en el Valle de El Poular. LIC "Cuenca del río Lozoya y Sierra Norte"

Incidence of roadkills on vertebrates within the Valle de El Poular.  
LIC "Cuenca del río Lozoya y Sierra Norte".

ALFREDO ESPINOSA<sup>1\*</sup>, JOSÉ ANTONIO SERRANO<sup>1</sup>, ALBERT MONTORI<sup>2</sup>



### RESUMEN

Las carreteras son uno de los agentes antrópicos de cambio más importantes. Son uno de los más relevantes agentes de fragmentación de hábitat, transformación de los sistemas naturales y actúan como un depredador inespecífico sobre la fauna. Varios estudios han demostrado que son la principal causa de mortalidad de anfibios, como es el caso del sapo común *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) en España. En un estudio previo realizado en la zona se puso de manifiesto que la mayor incidencia de los atropellos se producía sobre dos especies: *Bufo calamita* Laurenti, 1768 y *Bufo bufo*. Para analizar la situación actual y ampliar el área de estudio se seleccionaron 13 tramos de 1 km en las carreteras M-604 y M-611 localizadas en el LIC del Alto Lozoya (Sistema Central, Península Ibérica). Cada segmento prospectado se recorrió a pie en ambos sentidos tres veces al mes, durante dos años, desde marzo de 2009 (934 muestreos). Los transectos se caracterizaron considerando las variables: altitud de inicio y final, cobertura arbórea (para una franja de 20 m a ambos lados de la carretera), grado de humanización (muy bajo, bajo, medio) y vegetación dominante. Las visitas a los tramos se realizaron con un intervalo promedio de 9 días, tiempo suficiente para que no existieran observaciones repetidas. Además, los ejemplares atropellados detectados eran retirados de la calzada cuando esto era posible. Se han registrado un total de 632 vertebrados muertos en la calzada que se distribuyen por grupos en 123 anfibios, 160 reptiles, 191 aves y 80 mamíferos de 4, 14, 26 y 12 especies distintas, respectivamente. No se han encontrado diferencias en el número de atropellos según el día

---

<sup>1</sup> Oficina Comarcal de Agentes Forestales  
C/ Pradera, s/n. • 28740. Oteruelo del Valle - Rascafría. Madrid

<sup>2</sup> Universitat de Barcelona. Facultat de Biologia. Departament de Biologia Animal (Vertebrats).  
Av. Diagonal 645 • 08028 Barcelona

\* Correspondencia: jose.antonio.serrano.ros@madrid.org

de la semana, pero sí existen claras diferencias en la distribución de los atropellos a lo largo del año. Sólo dos variables ambientales muestran diferencias significativas según el grupo: el grado de humanización y el hábitat. Sin embargo, el test PostHoc de Bonferroni indica que para anfibios y aves sólo se observan diferencias significativas entre los hábitats con un grado de humanización extremos.

• **PALABRAS CLAVE:** atropellos, vertebrados, Lozoya.

## ABSTRACT

Roads are one of the most important human agents of habitat transformation. They are one of the most relevant agents of habitat fragmentation and transformation of natural systems and act as a nonspecific predator. Several studies have shown that they are the first cause of mortality of many amphibian species such as the Common Toad *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) in Spain. In the study area a previous work points out the major road mortality incidence in two species: *Bufo calamita* Laurenti, 1768 and *Bufo bufo*. In order to analyze the current situation of the impact and to extend the study area we have selected 13 stretches of 1 km in the M-604 and M-611 roads located in the "LIC del Alto Lozoya". Each transect was surveyed walking in both directions three times a month for two years from March 2009. The transects were characterized considering the following variables: altitude, tree cover, the degree of humanization (very low, low and medium) and the dominant vegetation. Tree cover values were estimated for a range of 20m on either side of the road. Visits to the selected transects were performed with an average interval of 9 days. The specimens were removed from the road when it was possible. In total 934 samplings were carried out. No differences were found in the number of road-killed vertebrates by day, but there are clear differences in the distribution throughout the year. Only two environmental variables showed significant differences: degree of humanization and habitat. However, Bonferroni *post hoc* test indicates that for amphibians and birds only significant differences between habitats and a degree of humanization exists.

• **KEY WORDS:** road-kill, vertebrates, Lozoya.

## LABURPENA

Errepideak, aldaketak eragiten dituzten faktore antropikoen artean garrantzitsuenetarikoak dira. Habitat-zatiketaren eta sistema naturalen aldaketaren eragile nabarmenetakoak dira eta fauna harrapari inespezifiko moduan jokatzendute. Zenbait ikerketek anfibioen heriotzen arrazoi nagusia direla frogatu dute, Espainiako apo arruntena *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) esaterako. Ikerketa eremuan, lana hasi aurretiko azterlan batetan harrapaketen eragin nagusia bi espezetan ematen zela ikusi zen: *Bufo calamita* Laurenti, 1768 eta *Bufo bufo*. Egungo egoera aztertu eta ikerketa eremuaren hedapena zabaldu asmoz, Alto Lozoya GKL-n (Erdialdeko Sistema, Iberiar penintsula) kokatutako M-604 eta M-611 errepideetan 1 km-ko 13 tarte aukeratu ziren. Tarte bakoitza aztertzeke, hilabeteen hirutan, oinez joan-etorria egin zen, 2009ko martxoan hasita bi urtetan zehar (934 laginketa). Trantsektuak honako aldagaiak kontutan hartuta karakterizatu zen: hasierako eta bukaerako altitudea, landarediaren estatura (errepidearen ertzetatik 20 m-ko zabalerako zerrenda kontutan hartuta),

gizatiartze-maila (oso baxua, baxua, ertaina) eta landaredi mota nagusia. Tarte bakoitza batez beste 9 eguneko tartearekin ikuskatu zen; ikuskatzeen arteko denbora tarte honek errepikatutako behaketak ekiditen ditu; gainera, harrapatuta aurkitzen ziren aleak ahal izanez gero errepidetik kentzen ziren. Orotara errepidean hildako 632 ornodun topatu dira; taldeka honela banatzen dira: 4 espezieta 123 anfibio, 14 espezieta 160 narrasti, 26 espezieta 191 hegazti eta 80 espezieta 12 ugaztun. Harrapaketa kopuruan, ez da asteko egunaren arabera desberdintasunik aurkitu baina urtean zeharreko harrapaketen banaketan desberdintasun argiak ageri ziren. Taldearen arabera bakarrik bi ingurune-aldagaietan agertzen ziren desberdintasunak: gizatiartze-mailan eta habitatean. Bonferroni-ren Posthoc testaren arabera orde, anfibio eta hegaztietan, soilik muturreko gizatiartzea duten habitatetan behatu daitezke desberdintasun esangarriak.

• **GAKO HITZAK:** harrapaketa, ornodunak, Lozoya.



## INTRODUCCIÓN

---

El impacto de los atropellos sobre las poblaciones de vertebrados se ha demostrado como uno de los factores más importantes de mortalidad no natural directa de la fauna vertebrada (TROMBULAK & FRISSELL, 2000; LESBARRÈRES *et al.*, 2003; MALO *et al.*, 2004; JAARMA *et al.*, 2006; FAHRIG & RYTWINSKY, 2009). Las carreteras actúan como un depredador inespecífico, siendo la primera causa de mortalidad de muchas especies, como es el caso del sapo común *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758) en España (LIZANA, 1993, 2002; LIZANA & DORDA, 1992; LIZANA & BARBADILLO, 1997; LLORENTE *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2007). Además, las vías de comunicación son uno de los agentes relevantes de fragmentación de hábitat y transformación de los sistemas naturales (SAUNDERS *et al.*, 1991; MARSHALL *et al.*, 1995; FORMAN *et al.*, 2003; WITTMAYER *et al.*, 2009).

El impacto de los atropellos se ha descrito como muy importante en algunos países de centro y norte de Europa (Suiza, RYSER & GROSSENACHER, 1989; Alemania, PODLOUCKY, 1989; Holanda, ZUIDERWIJK, 1989; Bélgica, BALLASINA, 1989). Durante los años 1959 y 1960 se realizó uno de los primeros estudios europeos para evaluar el impacto de las carreteras sobre la fauna (HODSON, 1960, 1962). Este último autor realizó un seguimiento de un tramo de carretera de unos 3,2 kilómetros, cerca de Northamptonshire (Inglaterra) y encontró un total de 577 animales atropellados de 16 especies distintas. Entre éstas, la especie con mayor incidencia fue *Rana temporaria* (Linnaeus, 1758) con 409 individuos, poniendo por primera vez de manifiesto la magnitud de este impacto sobre el grupo de los anfibios.

A partir de los años 90 se empezaron a realizar estudios sobre la mortalidad de vertebrados en las carreteras en la Península Ibérica, la mayoría de ellos rea-

lizados en el norte de España (CIFUENTES-TORRES & GARCÍA-OÑATE, 1991; ALVAREZ-BALÍS & FREÁN-HERNÁNDEZ, 1991; GONZÁLEZ-PRieto *et al.*, 1991; FREÁN-HERNÁNDEZ *et al.*, 1992, GONZÁLEZ-PRieto *et al.*, 1993). También encontramos algunos estudios en Andalucía (LÓPEZ-REDONDO & LÓPEZ-FERNÁNDEZ, 1991; LÓPEZ REDONDO, 1992a, 1992b), Menorca (MAYOL, 1991) y Catalunya (BABILONI-GONZÁLEZ, 1991; CARRETERO & ROSELL, 2000). En 1993 se realizó una recopilación de datos de todo el país en un primer intento de evaluar la magnitud del problema (PMVC-CODA, 1993). Sin embargo, debido a que el estudio se realizó reuniendo datos dispersos de observadores particulares ofreció resultados muy desiguales, tanto en magnitud como en cobertura. En nuestro país, aunque recientemente han aparecido algunos estudios (FRÍAS, 1999; CARRETERO & ROSELL, 2000; MONTORI *et al.*, 2001, 2003; SANTOS *et al.*, 2007; MARTÍNEZ-FREIRÍA & BRITO, 2012; GARRIGA *et al.*, 2012), existe poca información actual sobre la incidencia real de esta problemática, aunque se reconoce como uno de los factores más importantes de mortalidad de vertebrados y en particular sobre los anfibios y los reptiles (ASHLEY & ROBINSON, 1996; FORMAN & ALEXANDER, 1998; CARRETERO & ROSELL, 2000; GLISTA *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2007; GARRIGA *et al.*, 2012).

Por otra parte, se ha observado que en las áreas protegidas la mortalidad por atropellos tiene una gran incidencia (BERNARDINO & DALRYMPLE, 1992; DREWS, 1995; CLEVINGER *et al.*, 2003; RAMP *et al.*, 2006; AMENT *et al.*, 2008; HARTMANN *et al.*, 2011; GARRIGA *et al.*, 2012). Estas zonas poseen un mayor atractivo turístico para un importante contingente de la población y presentan una mayor regularidad de tráfico debido a la excepcionalidad de sus valores naturales, y en consecuencia una mayor incidencia de los atropellos (HARTMANN *et al.*, 2011; BERNARDINO & DALRYMPLE, 1992; GARRIGA *et al.*, 2012).

A pesar de la evidencia de que la mortalidad por atropello no tiene restricciones geográficas o taxonómicas (TAYLOR & GOLDINGAY, 2004), está claro que no afecta a todos los grupos de la misma manera. En la mayor parte de los estudios realizados, los anfibios y los reptiles son los más afectados (ASHLEY & ROBINSON, 1996; FORMAN & ALEXANDER, 1998; SMITH & DODD, 2003; GLISTA *et al.*, 2007), y el declive de sus poblaciones se ha atribuido, entre otros factores, a la mortalidad vial (FAHRIG *et al.*, 1995; GIBBS & SHRIVER, 2002, 2005; MARCHAND & LITVAITIS, 2004; STEEN & GIBBS, 2004). Existen además otros factores que modifican la incidencia de los atropellos en la fauna vertebrada (intrínsecos y extrínsecos), como son: los ciclos estacionales, los ritmos circadianos, el uso de las carreteras como medio de termorregulación, como vía de dispersión o como fuente de alimento, la densidad de tráfico, el grado de humanización o incluso el día de la semana (JAKOB *et al.*, 2003; PINOWSKI, 2005; GLISTA *et al.*, 2007).

En el presente estudio pretendemos estimar la mortalidad de vertebrados en dos carreteras localizadas en la zona de influencia del Parque Natural de

Peñalara y el LIC del Alto Lozoya e identificar qué sectores presentan una mayor incidencia de este impacto. Dos de los tramos seleccionados ya fueron objeto de estudio en el pasado (PMVC-CODA, 1993), poniéndose de manifiesto el gran impacto sobre el sapo común *Bufo bufo* y el sapo corredor *Bufo calamita* Laurenti, 1768, con lo que se podrán comparar los resultados obtenidos. Además, también se pretende analizar qué factores extrínsecos o intrínsecos describen los atropellos y obtener unos resultados que contribuyan a elaborar las herramientas de gestión de estas áreas protegidas, encaminadas a reducir el impacto de los atropellos sobre la fauna vertebrada.

## MATERIAL Y MÉTODOS

---

### Área de estudio

El ámbito territorial de estudio cuenta con una superficie de 19.992 ha correspondientes a los términos municipales de Rascafría, Alameda del Valle y Pinilla del Valle (Fig. 1). En esta zona se encuentran las siguientes figuras de protección: el Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara, la ZEPA "Alto Lozoya" (ES0000057) y el LIC "Cuenca del Río Lozoya y Sierra Norte" (ES3110002), que engloba las áreas protegidas. Actualmente toda la zona se encuentra incluida en la ordenación del PORN "Sierra de Guadarrama". La zona de estudio coincide con la cabecera de la cuenca hidrográfica del río Lozoya, el valle mejor definido e individualizado de la Comunidad de Madrid y el único que discurre hacia el NE. Constituye una unidad biogeográfica homogénea y bien delimitada. El rango altitudinal de la zona objeto de estudio varía, aproximadamente, entre los 1.100 m del fondo de valle y los 2.428 m del pico Peñalara. Predominan los materiales silíceos, gneis en su mayor parte, con una estrecha franja de depósitos calcáreos en el fondo del valle. La mayoría de estos materiales presentan rasgos y estructuras modeladas en la orogenia alpina.

Los dominios de vegetación que se corresponden con los pisos bioclimáticos en nuestra zona son los siguientes: 1) Supramediterráneo, extendiéndose desde los 900 a los 1.700 m. La temperatura media anual varía entre los 8 y 12 °C. Está cubierto en su mayoría por bosques de frondosas, principalmente melojo *Quercus pyrenaica* Willd. aunque también bosques adehesados de fresno *Fraxinus angustifolia* Vahl. y algunas manchas de abedul *Betula* sp., álamo temblón *Populus tremula* L. y álamo negro *Populus nigra* L. 2) Oromediterráneo, localizado entre los 1.700 y los 2.100 m. La temperatura media anual varía entre 4 y 8 °C. Los bosques de pino albar *Pinus sylvestris* L. y los piornales *Cytisus oromediterraneus* (L.), enebrales *Juniperus communis* L. subsp. *alpina* y cambroñales *Adenocarpus hispanicus* (Lamk.) son sus principales formaciones. 3) Crioromediterráneo, localizado a partir de los 2.100 m,

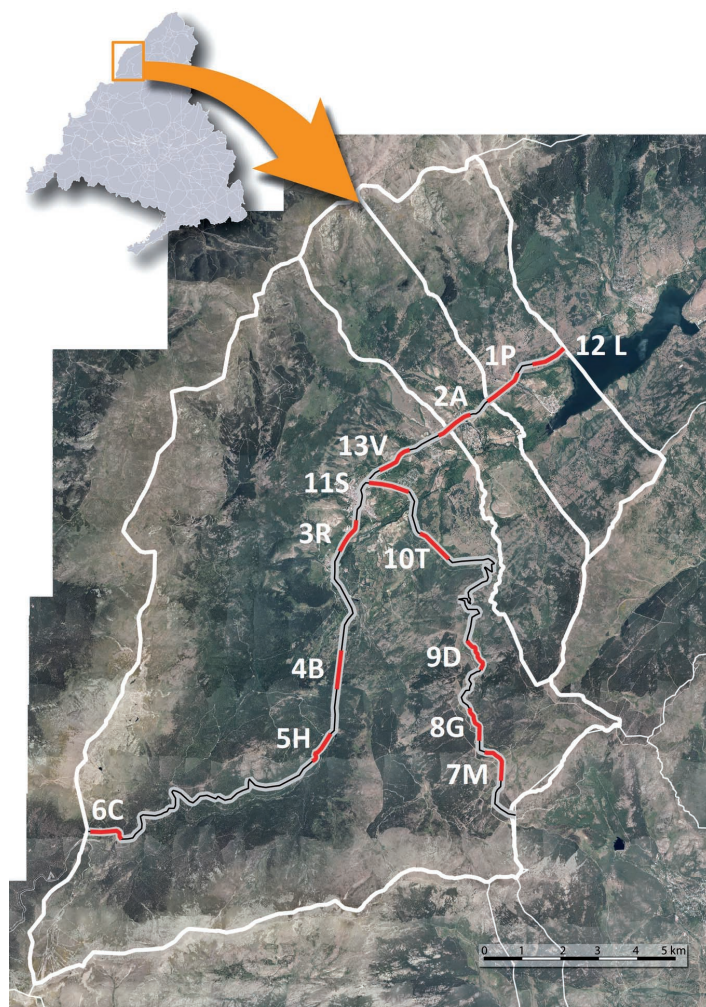


Fig. 1.- Localización de los tramos muestreados.

Fig. 1.- Location of the survey transects.

ocupando pequeñas extensiones discontinuas. Aparecen pastizales y céspedes de alta montaña. La temperatura media anual es inferior a 4 °C. Las condiciones climatológicas existentes determinan la presencia de varios pisos bioclimáticos o termotipos: supramediterráneo, oromediterráneo y crioromediterráneo, aunque en las zonas más lluviosas aparecen los termotipos suprasubmediterráneo, orosubmediterráneo y criorosubmediterráneo (RIVAS-MARTÍNEZ & LOIDI, 1999). Estas peculiaridades suponen una importante heterogeneidad de ambientes.

## Muestreo

Se seleccionaron 13 transectos de 1 km en las carreteras M-604 y M-611 localizadas en el LIC del Alto Lozoya (Fig. 1). Cada segmento prospectado se recorrió a pie en ambos sentidos, con una periodicidad de tres visitas mensuales durante dos años desde marzo de 2009. Los transectos se caracterizaron considerando las siguientes variables: la altitud de inicio y final, la cobertura arbórea, el grado de humanización (muy bajo, bajo, medio) y la vegetación dominante. Los valores de cobertura arbórea se estimaron para una franja de 20 m a cada lado de la carretera, a partir de los ortofotomapas del visor cartográfico "Planea" de la Comunidad de Madrid (<http://www.madrid.org/cartografia/planea/index.htm>).

Todas las visitas a los tramos seleccionados se realizaron con un intervalo promedio de nueve días, tiempo suficiente para que no existieran observaciones repetidas. Los ejemplares atropellados detectados eran retirados de la calzada cuando esto era posible. En total se realizaron 934 muestreos de tramo. En cada recorrido se tomaron las siguientes variables: día ordinal de la semana, el número de vehículos en 5 minutos, hora de inicio y finalización, meteorología (soleado, nublado, lluvioso, con niebla, nevando), el estado de la calzada (húmeda, seca, nevada), el sexo, la edad y estado del individuo (fresco, reciente, seco), y para los ofidios se estimó la longitud total. Los ejemplares encontrados atropellados se intentaron clasificar hasta el nivel taxonómico de especie. Cuando esto no era posible se asignaban a la categoría de no identificados.

## Tratamiento de datos

Para evitar la sobrerepresentación de los individuos no identificados, para algunos análisis los atropellos se agruparon en el nivel taxonómico de clase (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) y de género (ítems en el texto). La comparación temporal entre tramos, así como la determinación de los factores ambientales asociados a los atropellos, se analizaron mediante análisis de la varianza (ANOVA y MANOVA). Se estimaron también las riquezas relativas por tramos y meses mediante el índice de abundancia de atropellos por km y día (IKA).

Para el análisis de la importancia de cada tramo estudiado se consideró cada uno como un depredador distinto, comparándose mediante la metodología de análisis de dieta como si fueran depredadores distintos. Se ha utilizado el índice de diversidad de Margalef (Índice de Brillouin) de acuerdo con PIELOU (1966, 1975) y HURTUBIA (1973). Los estimadores utilizados fueron: la diversidad individual máxima (DIM) y la diversidad acumulada (DA), estimada a partir de la suma de todos los transectos realizados en un mismo tramo. Por otra parte, se

ha comparado la diversidad individual y acumulada temporal por meses hasta nivel taxonómico de géneros, para estimar qué periodos temporales ofrecen una mayor diversidad de atropellos. La relación entre el número de atropellos y la intensidad del tráfico se ha analizado mediante el coeficiente de correlación por rangos de Spearman.

Para optimizar el muestreo de cara a la continuidad futura de los seguimientos se ha utilizado la metodología de análisis acumulativo de las diversidades paso a paso, para determinar a partir de qué número de muestreos se satura la diversidad y, por tanto, no se añade información sustancial. Esta metodología fue utilizada ya por RUIZ & JOVER (1981), para determinar el número mínimo de contenidos estomacales que debían analizarse para obtener la representación total de la dieta. Comparando los tramos entre sí con la diversidad temporal y la diversidad acumulada paso a paso se puede optimizar el muestreo para años sucesivos.

## RESULTADOS

Únicamente se ha detectado al menos un atropello en 304 de los 934 recorridos realizados. El número medio de atropellos estimado fue de 0,68 ind/km, con un máximo de 12 y una desviación estándar de 1,43. Se han registrado un total de 632 vertebrados muertos en la calzada, que se distribuyen por grupos en 123 anfibios, 160 reptiles, 191 aves y 80 mamíferos de 4, 14, 26 y 12 especies, respectivamente. Un total de 67 individuos no pudieron identificarse. En la tabla 1 se presenta un resumen de los atropellos encontrados pormenorizado por especie y grupo. Del total de individuos en que se pudo determinar el sexo, el 49,0% fueron machos.

Entre las especies identificadas cabe destacar la detección de siete de ellas con alguna categoría de amenaza según la IUCN (IUCN, 2012). Se han identificado cuatro casi amenazadas (NT): *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774), *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758) -EN en el Catálogo Regional-, *Lacerta schreiberi* Bedriaga, 1878 y *Timon lepidus* (Daudin, 1802), y dos vulnerables (VU): *Iberolacerta monticola* (Boulenger, 1905) y *Vipera latastei* (Boscá, 1878).

No se han observado diferencias significativas entre los resultados de atropellos obtenidos en los dos años de estudio, por lo que los datos correspondientes a las dos anualidades se han agrupado para analizarlos conjuntamente.

### Análisis taxonómico

En el grupo de las aves destacan los atropellos del grupo de los passeriformes, que llegan a representar el 80,6%, siendo las familias Muscicapidae,

Murdidae, Sylviidae y Fringiliidae las más afectadas por el tráfico rodado. Con diferencia, la especie con mayor incidencia de atropellos es el petirrojo europeo *Erithacus rubecula* (Linnaeus, 1758), que representa el 14,7% de todas las aves detectadas (Tabla 1).

Tabla 1.- Distribución de los atropellos por especies y grupos. N=número de ejemplares atropellados en el periodo de estudio. %: Frecuencia relativa. UICN: Estatus de conservación según la Lista Roja de la UICN. CNEA: Categoría en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas. CM: Catálogo regional de la Comunidad de Madrid. LC: Preocupación menor. EN: En peligro. VU: Vulnerable. NT: Casi amenazada. DIE: De interés especial. LI: Listada pero no catalogada.

Table 1.- Roadkill distribution in relation to species and groups. N=number of specimens killed during status according to the Red List of the UICN. CNEA: Category within the National Catalogue of the Endangered Species. CM: Regional List of the Community of Madrid. LC: Least Concern. EN: Endangered. VU: Vulnerable. NT: Nearly Threatened. DIE: Special Interest. LI: Within the List but not cataloged.

| Aves                           | N          | %          | UICN | CM  | CNEA |
|--------------------------------|------------|------------|------|-----|------|
| <i>Aegithalos caudatus</i>     | 5          | 2,6        | LC   |     |      |
| <i>Caprimulgus europaeus</i>   | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| <i>Caprimulgus</i> sp.         | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| <i>Corvus corone</i>           | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| <i>Erithacus rubecula</i>      | 28         | 14,7       | LC   |     |      |
| <i>Ficedula hypoleuca</i>      | 5          | 2,6        | LC   |     |      |
| <i>Fringilla coelebs</i>       | 5          | 2,6        | -    |     |      |
| <i>Garrulus glandarius</i>     | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| <i>Hirundo rustica</i>         | 5          | 2,6        | LC   |     |      |
| <i>Lanius meridionalis</i>     | 1          | 0,5        | -    | DIE |      |
| <i>Lanius senator</i>          | 2          | 1,1        | LC   |     |      |
| <i>Loxia curvirostra</i>       | 3          | 1,6        | LC   |     |      |
| <i>Lullula arborea</i>         | 2          | 1,1        | LC   |     |      |
| <i>Miliaria calandra</i>       | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| <i>Parus caeruleus</i>         | 2          | 1,1        | LC   |     |      |
| <i>Parus major</i>             | 4          | 2,1        | LC   |     |      |
| Paseriforme                    | 52         | 27,4       | -    |     |      |
| <i>Passer domesticus</i>       | 3          | 1,6        | LC   |     |      |
| <i>Pica pica</i>               | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| <i>Saxicola torquata</i>       | 1          | 0,5        | -    |     |      |
| <i>Serinus serinus</i>         | 2          | 1,1        | LC   |     |      |
| <i>Sturnus unicolor</i>        | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| <i>Sylvia atricapilla</i>      | 9          | 4,7        | LC   |     |      |
| <i>Sylvia hortensis</i>        | 1          | 0,5        | LC   | DIE |      |
| <i>Troglodytes troglodytes</i> | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| <i>Turdus merula</i>           | 17         | 8,9        | LC   |     |      |
| <i>Turdus philomelos</i>       | 1          | 0,5        | LC   |     |      |
| Ave ind.                       | 35         | 18,4       | -    |     |      |
| <b>Total</b>                   | <b>191</b> | <b>100</b> |      |     |      |

| Anfibios                         | N          | %          | UICN | CM  | CNEA |
|----------------------------------|------------|------------|------|-----|------|
| <i>Bufo bufo</i>                 | 44         | 35,8       | LC   |     |      |
| <i>Bufo calamita</i>             | 39         | 31,7       | LC   |     | LI   |
| <i>Bufo</i> sp.                  | 5          | 4,1        | LC   |     |      |
| <i>Salamandra salamandra</i>     | 1          | 0,8        | LC   |     |      |
| <i>Triturus marmoratus</i>       | 3          | 2,4        | LC   |     | LI   |
| Anfibio ind.                     | 31         | 25,2       | -    |     |      |
| <b>Total</b>                     | <b>123</b> | <b>100</b> |      |     |      |
| Mamífero                         | N          | %          | UICN | CM  | CNEA |
| <i>Apodemus sylvaticus</i>       | 7          | 8,8        | LC   |     |      |
| <i>Barbastella barbastellus</i>  | 1          | 1,3        | NT   |     | LI   |
| <i>Capreolus capreolus</i>       | 4          | 5,0        | LC   |     |      |
| <i>Erinaceus europaeus</i>       | 2          | 2,5        | LC   |     |      |
| <i>Felis catus</i>               | 6          | 7,5        | -    |     |      |
| <i>Lepus capensis</i>            | 1          | 1,3        | LC   |     |      |
| <i>Lutra lutra</i>               | 1          | 1,3        | NT   | EN  | LI   |
| <i>Meles meles</i>               | 4          | 5,0        | LC   |     |      |
| Micromamífero                    | 9          | 11,3       | -    |     |      |
| <i>Microtus</i> sp.              | 3          | 3,8        | -    |     |      |
| Quiróptero                       | 4          | 5,0        | -    |     |      |
| <i>Pipistrellus pipistrellus</i> | 1          | 1,3        | LC   |     | LI   |
| <i>Sorex</i> sp.                 | 1          | 1,3        | -    |     |      |
| <i>Sus scrofa</i>                | 1          | 1,3        | LC   |     |      |
| <i>Talpa europaea</i>            | 2          | 2,5        | LC   |     |      |
| <i>Vulpes vulpes</i>             | 2          | 2,5        | LC   |     |      |
| Mamífero ind.                    | 31         | 38,8       | -    |     |      |
| <b>Total</b>                     | <b>80</b>  | <b>100</b> |      |     |      |
| Reptiles                         | N          | %          | UICN | CM  | CNEA |
| <i>Chalcides striatus</i>        | 1          | 0,7        | LC   |     | LI   |
| <i>Coronella austriaca</i>       | 4          | 2,7        | -    |     | LI   |
| <i>Coronella girondica</i>       | 6          | 4,1        | LC   |     | LI   |
| <i>Vipera latastei</i>           | 4          | 2,7        | VU   |     | LI   |
| <i>Coronella</i> sp.             | 1          | 0,7        | -    |     |      |
| Ofidio                           | 3          | 2,1        | -    |     |      |
| <i>Iberolacerta monticola</i>    | 2          | 1,4        | VU   | VU  | LI   |
| <i>Lacerta schreiberi</i>        | 15         | 10,3       | NT   | DIE | LI   |
| Lagartija                        | 2          | 1,4        |      |     |      |
| Lagarto                          | 2          | 1,4        |      |     |      |

Tabla 1.- (continuación)

Table 1.- (continue)

| Reptiles (continuación)        | N          | %          | UICN | CM | CNEA |
|--------------------------------|------------|------------|------|----|------|
| Saurio                         | 21         | 14,4       | -    |    |      |
| <i>Malpolon monspessulanus</i> | 8          | 5,5        | LC   |    | LI   |
| <i>Natrix maura</i>            | 14         | 9,6        | LC   |    | LI   |
| <i>Natrix natrix</i>           | 9          | 6,2        | LC   |    | LI   |
| <i>Podarcis hispanica</i>      | 13         | 8,9        | LC   |    | LI   |
| <i>Podarcis muralis</i>        | 6          | 4,1        | LC   |    | LI   |
| <i>Psammodromus algirus</i>    | 23         | 15,8       | LC   |    | LI   |
| <i>Rhinechis scalaris</i>      | 4          | 2,7        | LC   |    |      |
| <i>Timon lepidus</i>           | 8          | 5,5        | NT   |    | LI   |
| Reptil ind.                    | 14         | 9,6        | -    |    |      |
| <b>Total</b>                   | <b>146</b> | <b>100</b> |      |    |      |
| Por clase                      | N          | %          |      |    |      |
| ANFIBIOS                       | 123        | 22,8       |      |    |      |
| REPTILES                       | 146        | 27,0       |      |    |      |
| AVES                           | 191        | 35,4       |      |    |      |
| MAMÍFEROS                      | 80         | 14,8       |      |    |      |
| <b>Total</b>                   | <b>540</b> | <b>100</b> |      |    |      |

Tabla 1.- (continuación)

Table 1.- (continue)

El segundo grupo en importancia en cuanto a la incidencia de este impacto son los reptiles. De entre éstos los saurios son los más atropellados, representando el 63,7%. Las especies más afectadas son la lagartija colilarga *Psammodromus algirus* (Linnaeus, 1758), el lagarto verdinegro *Lacerta scheiberei*, la culebra viperina *Natrix maura* (Linnaeus, 1758) y la lagartija ibérica *Podarcis hispanica* (Steindachner, 1870). Destaca la alta incidencia de los atropellos sobre el lagarto verdinegro considerado como casi amenazado (NT) por la IUCN e incluido en el Listado de Especies en Régimen de Protección Especial (Real Decreto 139/2011).

El tercer grupo de vertebrados más atropellado son los anfibios, concentrándose la mayor parte de los atropellos en dos especies, el sapo común y el sapo corredor. Estas dos especies en su conjunto representan el 71,5% de los anfibios, siendo los vertebrados más frecuentemente atropellados a lo largo de los dos años de estudio.

Los mamíferos representan el grupo con menor incidencia de atropellos, siendo el ratón de campo *Apodemus sylvaticus* (Linnaeus, 1758) la especie encontrada atropellada con mayor frecuencia. Aunque numéricamente poco

importantes, cabe resaltar la localización de dos especies consideradas como casi amenazadas (NT) por la IUCN: la nutria común *Lutra lutra* y el murciélago de bosque *Barbastella barbastellus*. De especial relevancia es la localización de un ejemplar de nutria común, considerada como en peligro (EN) en el Catálogo Regional.

### Análisis temporal

No se han encontrado diferencias en el número de atropellos según el día de la semana, pero sí existen claras diferencias en su distribución a lo largo del año (Fig. 2). Las ANOVA realizadas indican que tanto los anfibios ( $F_{(11, 922)}=2,0926$ ,  $p=0,01858$ ), como los reptiles ( $F_{(11, 922)}=9,9806$ ,  $p<0,0001$ ), las aves ( $F_{(11, 922)}=7,5014$ ,  $p<0,0001$ ) o los mamíferos ( $F_{(11, 922)}=2,0566$ ,  $p=0,02105$ ) muestran diferencias significativas en la distribución mensual de los atropellos.

El análisis mensual de los atropellos detectados muestra que el número de transectos positivos (con al menos un atropello detectado) es muy bajo en invierno y máximo en verano (Fig. 3), superando sólo el 50% en los meses de julio, agosto y septiembre. De similar forma se comporta el número de ítems distintos (géneros distintos) encontrados atropellados por mes. Solamente entre junio y septiembre la riqueza específica alcanza el 50% de todos los géneros detectados.

Los anfibios son atropellados fundamentalmente a finales de invierno coincidiendo con el inicio de la reproducción, mientras que los reptiles, grupo más termófilo, lo son fundamentalmente durante el final de la primavera y verano. En ambos grupos se observa una ausencia prácticamente total de atropellos de noviembre a febrero. Por lo que respecta a las aves, la mayor detección de atropellos se produce en el período estival. Los mamíferos, aunque atropellados a lo largo de todo el año, presentan una mayor incidencia en los meses de verano.

Los valores de índice quilométrico de abundancia (IKA) obtenidos para el global de datos (Fig. 4) son concordantes con los datos obtenidos en las ANOVA realizadas. El tramo 3R, localizado cerca de la población de Rascafría (ver Fig. 1), muestra un IKA muy superior al de la mayoría de los tramos (2,13 atropellos/km) ( $F_{(12, 901)}=12,124$ ;  $p<0,0001$ ). El siguiente tramo en importancia (12L) muestra un IKA muy por debajo del obtenido en el tramo anteriormente citado (1,06 atropellos/km). Si analizamos los IKA desde una perspectiva temporal (Fig. 4) podemos observar que de junio a septiembre se dan los valores más elevados, todos ellos superiores a 1 atropello/km. El valor máximo promedio de IKA combinando tramos y meses se obtuvo para el mes de octubre y el tramo 3R, con 4,83 atropellos/km, aunque el valor máximo absoluto de atropellos se obtuvo para los recorridos 1P y 3R, con 12 atropellos cada uno en transectos del mes de marzo y mayo, respectivamente.

A pesar de que los sábados y domingos presentan un tráfico significativamente mayor ( $F_{(6, 927)}=14,057$ ,  $p<,0001$ ), no se ha observado una mayor incidencia de atropellos en los fines de semana, como cabría esperar en una zona natural con un importante uso público (Fig. 2). Tampoco se ha detectado ninguna correlación significativa entre el número de atropellos y el número de

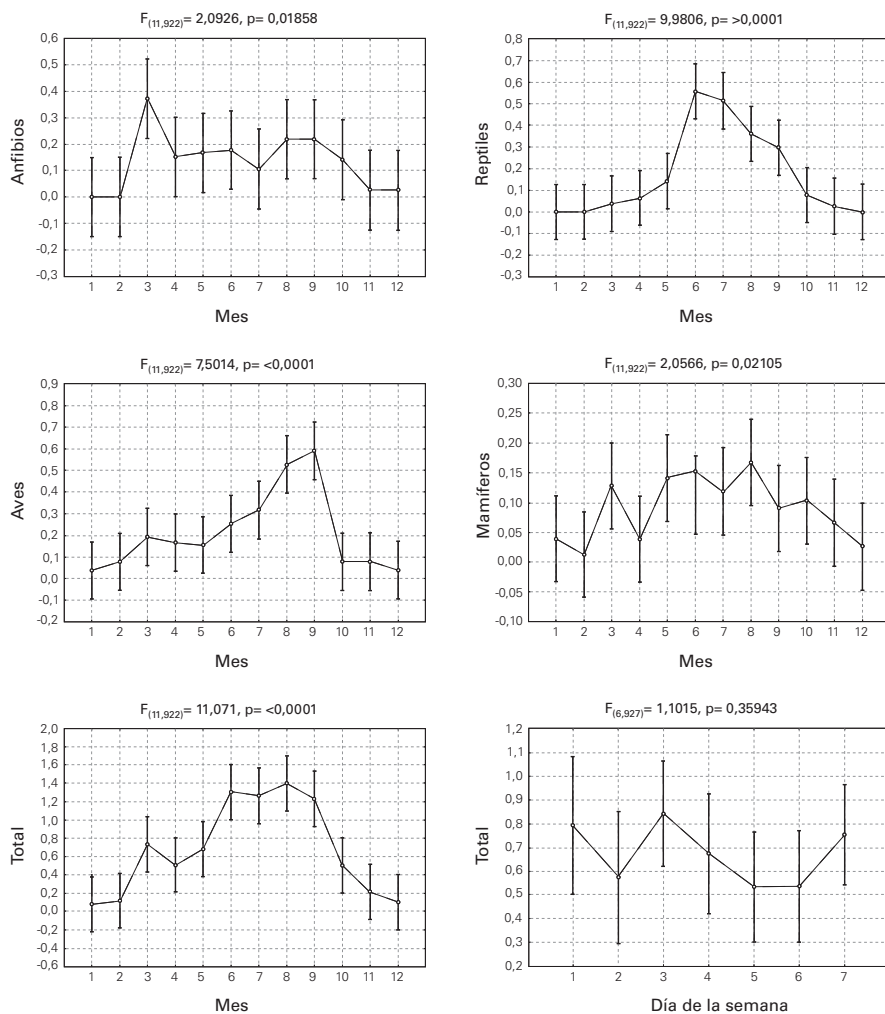


Fig. 2.- Distribución temporal de los atropellos para el total, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. El punto indica el valor medio de los atropellos por mes o semana y las barras verticales indican el intervalo de confianza del 95%.

Fig. 2. Temporal distribution of the roadkills for all vertebrates, amphibians, reptiles, birds and mammals. Points indicate the mean number of roadkills per month or week, and bars indicate the 95% CI.

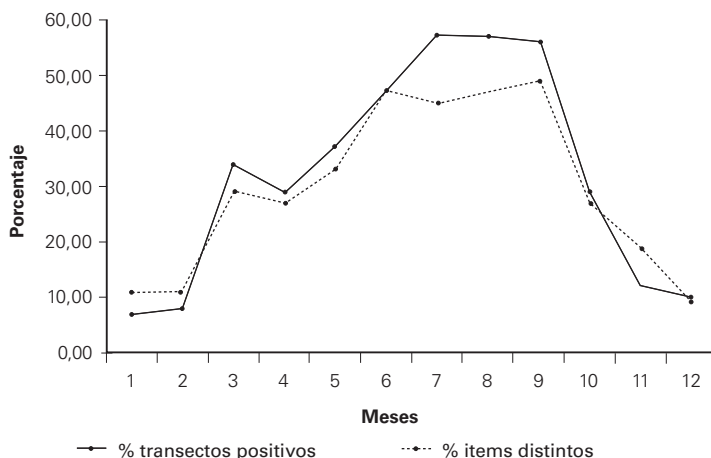


Fig. 3.- Porcentaje de transectos positivos (con al menos un ejemplar atropellado) a lo largo del año y de géneros distintos (ítems) atropellados a lo largo del año.

Fig. 3.- Percentage of positive transects (with at least an specimen found killed) and of different genera (items) killed during the annual cycle.

vehículos, tanto considerando el número total como el de anfibios, reptiles, aves y mamíferos por separado. Si eliminamos los meses sin atropellos, únicamente se observa una correlación significativa entre aves y número de vehículos ( $R_s=0,2038$ ,  $p=0,05$ ,  $R^2=0,0415$ ), aunque el bajo valor de  $R^2$  indica que existe muy poca consistencia en esta relación observada.

### Análisis de la diversidad por tramos

El análisis de la diversidad puede observarse en la tabla 2. La diversidad individual máxima es muy baja, obteniéndose los mayores valores para los tramos 3R, 10T Y 12L. Si analizamos la diversidad acumulada, se observa que el máximo lo presenta el tramo 12L, seguido del 13V, 10T, 3R, 11S, 2A y 1P. Estos tramos son los que presentan un número mayor de géneros distintos atropellados y, por tanto, los que ofrecen una mayor representatividad de atropellos.

### Análisis por ambiente

Sólo dos variables ambientales muestran diferencias significativas según el grupo: el grado de humanización ( $F_{(8,584)}=2,2269$ ,  $p=0,02410$ ) y el hábitat ( $F_{(24, 1019,9)}=2,1701$ ,  $p=0,00095$ ). Sin embargo, el test PostHoc de Bonferroni indica que para anfibios y aves sólo se observan diferencias significativas entre los hábitats con un grado de humanización extremo (Fig. 5). Así, tanto los anfibios como las aves son atropellados en mayor medida en los ambientes más

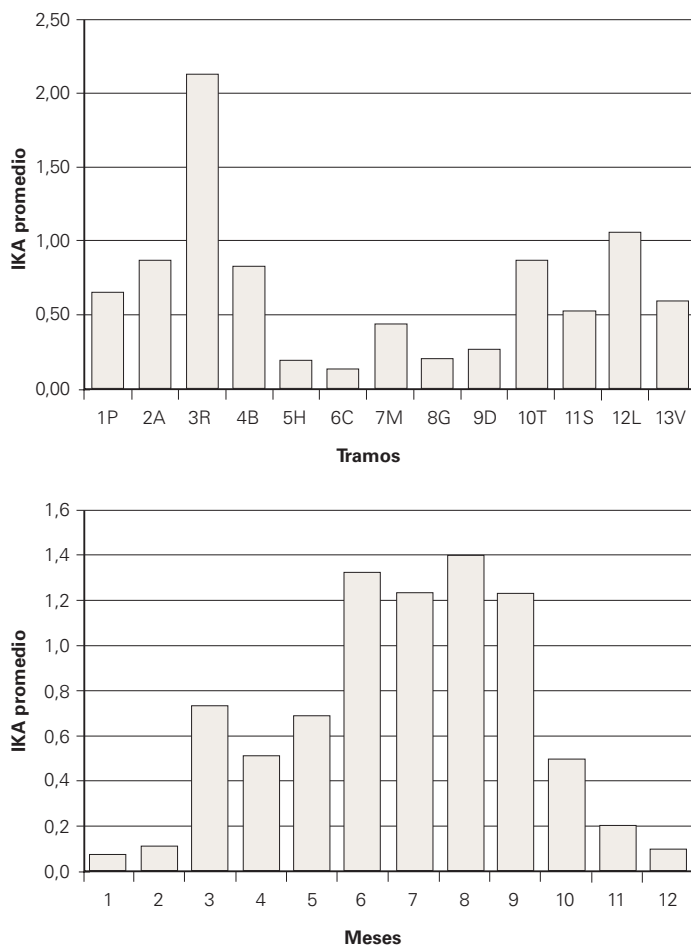


Fig. 4.- Índice kilométrico de abundancia (IKA) promedio por tramos (arriba) y por meses (abajo). La localización de los tramos puede observarse en la Fig. 1.

Fig. 4.- Mean bundance kilometric index (IKA) by transects (above) and months (below). The location of the transects can be found in Fig. 1.

humanizados ( $F_{(2, 301)}=7,4301$ ,  $p=0,00071$ ; y  $F_{(2, 301)}=13,542$ ,  $p<0,00001$ , respectivamente). Los reptiles y los mamíferos no muestran diferencias significativas respecto al grado de humanización.

En cuanto a la tipología del hábitat (Fig. 5) se han encontrado diferencias significativas en los atropellos ( $F_{(6, 297)}=4,8255$ ,  $p=0,0001$ ). El test PostHoc de Bonferroni indica que los anfibios son atropellados en una mayor proporción en aquellas carreteras que bordean bosques de ribera, siendo significativamen-

|          | 1P   |      | 2A   |      | 3R   |      | 4B   |      | 5H   |      | 6C   |      | 7M   |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | con  | sin  | con  | sin  | con  | sin  | con  | sin  | con  | sin  | con  | sin  | con  | sin  |
|          | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   |
| nº items | 17   | 16   | 16   | 15   | 21   | 20   | 15   | 14   | 8    | 7    | 8    | 7    | 10   | 9    |
| DIMA     | 0,86 | 0,86 | 1,17 | 0,92 | 1,66 | 1,41 | 1,08 | 1,08 | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,50 |
| DA       | 2,72 | 2,56 | 2,81 | 2,77 | 2,98 | 2,83 | 2,57 | 2,72 | 1,95 | 1,81 | 1,92 | 1,76 | 2,07 | 1,79 |

|          | 8G   |      | 9D   |      | 10T  |      | 11S  |      | 12L  |      | 13V    |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|
|          | con  | sin  | con  | sin  | con  | sin  | con  | sin  | con  | sin  | con    | sin  |
|          | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI   | NI     | NI   |
| nº items | 6    | 5    | 8    | 7    | 18   | 17   | 19   | 18   | 22   | 21   | 15     | 14   |
| DIMA     | 0,5  | 0,5  | 0,86 | 0,86 | 1,61 | 1,42 | 1,18 | 0,86 | 1,53 | 1,24 | 1,25   | 0,86 |
| DA       | 1,73 | 1,56 | 1,87 | 1,73 | 3,14 | 3,08 | 2,8  | 2,95 | 3,48 | 3,4  | 3,3r26 | 2,56 |

Tabla 2.- Diversidad individual máxima (DIMA) y diversidad acumulada (DA) por tramos analizada por géneros (ítems), estimada considerando los no identificados (con NI) y sin ellos (sin NI). La localización de los tramos puede verse en la fig 1.

Tabla 2.- Maximum Individual Diversity (DIMA) and accumulated diversity (DA) by transects and genera (items), assessed with (con NI) and without the non-identified specimens (sin NI). The location of the transects can be found in Fig. 1.

te distintos estos valores a los obtenidos para pastos ( $p < 0,0001$ ), robledales ( $p < 0,0001$ ) y fresnedas ( $p = 0,0038$ ). Los reptiles también muestran diferencias significativas en los hábitats en que son atropellados ( $F_{(6, 297)} = 3,8273$ ,  $p = 0,00108$ ). Los análisis PostHoc de Bonferroni indican que son atropellados en mayor proporción en los bosques de ribera y robledales, aunque sólo los pastos muestran diferencias significativas con ellos ( $p = 0,0258$  y  $p = 0,0352$  respectivamente). Las aves se atropellan en mayor medida en los tramos que discurren por bosques de ribera ( $F_{(2, 301)} = 7,4301$ ,  $p = 0,00071$ ), indicando el test PostHoc de Bonferroni que este hábitat es significativamente distinto a todos los demás. Los mamíferos no muestran ningún patrón significativo, siendo atropellados en todos los hábitats considerados por igual (Fig. 5).

### Optimización del muestreo

Los resultados obtenidos en el análisis de la diversidad acumulada paso a paso indican que a nivel de grupos (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) la diversidad acumulada se satura a partir de los 30 transectos (Fig. 6). Sin embargo, a nivel de géneros la diversidad se satura a partir de los 40.

La frecuencia de tres muestreos mensuales por tramo se ha mostrado suficiente para la determinación de la incidencia de los atropellos en la zona obje-

to de estudio. En definitiva, podríamos concluir que concentrando los transectos en los tramos 3R, 13V, 10T Y 12L habríamos obtenido resultados similares, ya que éstos presentan un número elevado de ítems distintos, mayor diversidad e IKAs más elevados.

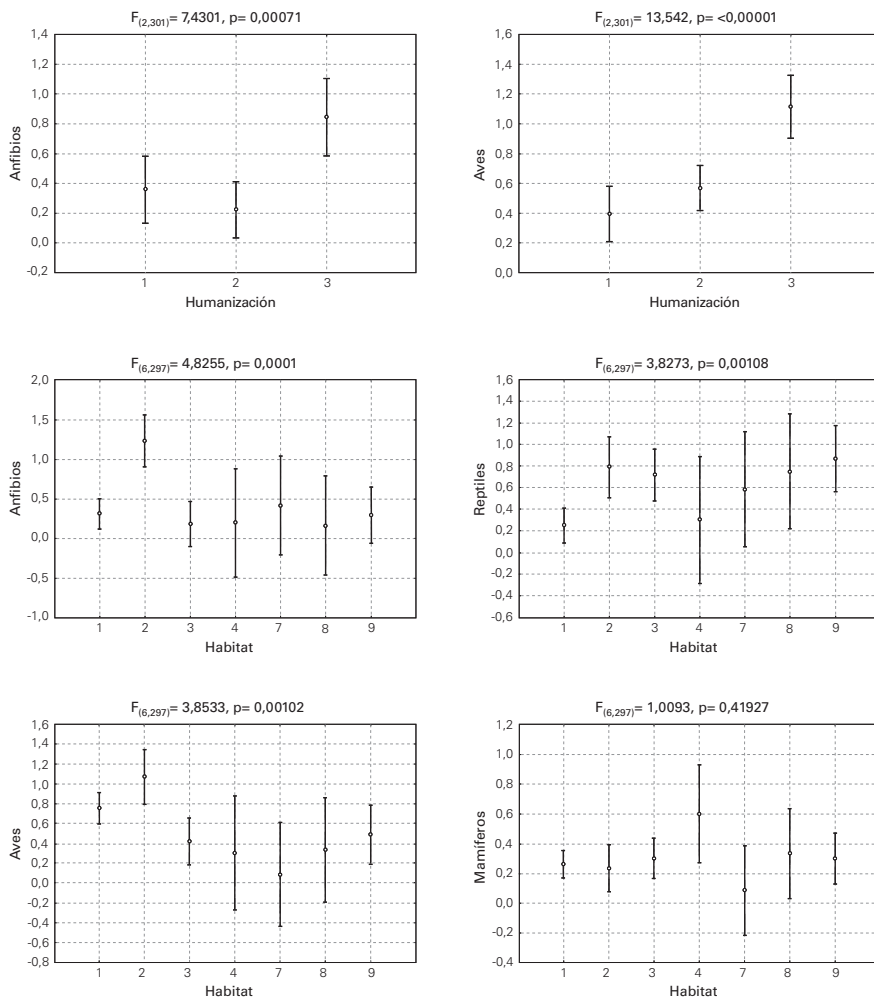


Fig. 5.- Atropellos de anfibios y aves según las categorías de grado de humanización (1= Muy bajo, 2= Bajo, 3= Medio) y la tipología de hábitat (1=Pastos, 2= Bosque Ribera, 3=Robledal, 4=Pinar natural, 7=Pinar de repoblación, 8=Roquedo, 9=Fresneda). El punto indica el valor medio de los atropellos por transecto. Las líneas verticales indican el intervalo de confianza del 95%.

Fig. 5.- Roadkills of amphibians and birds according to the categories indicating the degree of humanization (1= Very low, 2 = Low, 3 = Medium) and the habitat type (1= Meadows, 2 = Riparian forest, 3 = Oak forest, 4 = Artificial pine woodland, 5 = Cliff, 6 = Ash forest). The point shows the mean value of the roadkills within a transect. Vertical lines show the 95% confidence interval.

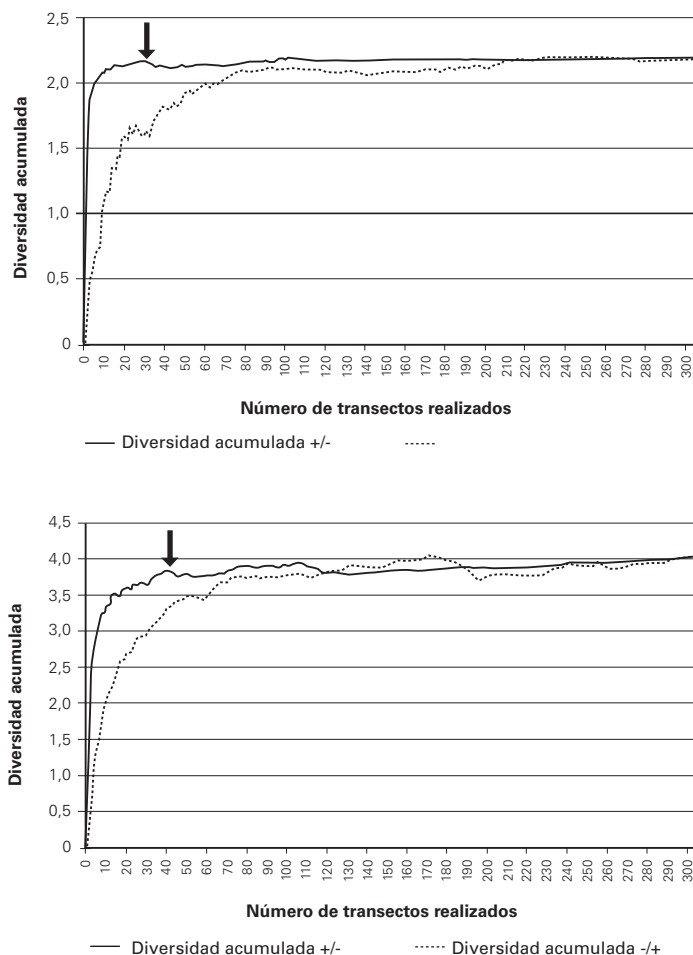


Fig. 6.- Análisis de la diversidad acumulada por clases distintas (arriba) y por géneros distintos (abajo). La flecha indica el punto a partir del cual la diversidad se satura.

Fig. 6.- Analysis of the diversity according to different classes (above) and genera (below). Arrow shows the point from which the diversity index reaches the asymptote.

## DISCUSIÓN

Los diversos estudios que analizan la incidencia de los atropellos sobre todos los grupos de vertebrados en territorio español presentan resultados distintos (ARAGONESES *et al.*, 1993; GONZÁLEZ-PIETO *et al.*, 1993; CARRETERO & ROSELL, 2000; GOB, 2001; PMVC-CODA, 2003; SCV, 2003; LLORENTE *et al.*, 2005; DÁVILA *et al.*, 2007; GARRIGA *et al.*, 2012). Mientras que la mayor parte de los estudios indican que los anfibios son el grupo que presenta un mayor porcentaje de

atropellos (89,2% en GONZÁLEZ-PRieto *et al.*, 1993; 42,6% en CARRETERO & ROSELL, 2000; 91,7% en SCV, 2003; 62% en GARRIGA *et al.*, 2012), otros autores encuentran que la mayor parte de la mortalidad se produce en las aves (GOB, 2001; PMVC-CODA, 1993, 2003) o en los reptiles (DÁVILA *et al.*, 2007). Nuestros resultados indican que son las aves la clase de vertebrados más afectada, con un 35,4% de los atropellos (Tabla 1), aunque los otros grupos están bien representados. Nuestros datos concuerdan con los obtenidos por la PMVC-CODA (2003), que en un estudio extensivo e intensivo de gran parte del territorio español obtiene una representatividad de las aves de un 36,86%.

Las diferencias encontradas entre los diferentes estudios pueden deberse a muchos factores: la metodología de estudio, su temporalidad y las características bióticas y abióticas del medio. Muchos estudios se realizan con vehículos a una velocidad de 20-30 km/h, lo que hace que las especies y los individuos de pequeño tamaño pasen desapercibidos (CARRETERO & ROSELL, 2000; LLORENTE *et al.*, 2005, PMVC-CODA, 2003; GARRIGA *et al.*, 2012). Existe además un sesgo importante en la información debido a la distinta permanencia de los ejemplares muertos en la carretera. De forma general se acepta que los estudios de atropellos infravaloran el efecto real del tráfico rodado ya que, bien por su palatabilidad, bien por su tamaño, unas especies permanecen más tiempo en la carretera que otras (ARAGONESES *et al.*, 1993; LLORENTE *et al.*, 2005; MONTORI *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2011). Así, en un estudio realizado en Cataluña para los anfibios por LLORENTE *et al.* (2005) se estima que el número real de atropellos es en promedio unas 3,7 veces superior al encontrado en las prospecciones, existiendo importantes diferencias entre especies. SANTOS *et al.* (2011) indican que, en general, la persistencia es mucho menor para los animales pequeños y en las carreteras con poco tráfico, en periodos lluviosos y durante la estación seca. En nuestro caso, muchos de los individuos no identificados corresponden a manchas sobre el asfalto, asignables a un atropello, pero a ninguna de las clases de vertebrados. Estos ejemplares son normalmente eliminados por otras especies de vertebrados (córvidos o carnívoros) e incluso invertebrados (himenópteros, por ejemplo), o bien destruidos por el sucesivo paso de vehículos (LLORENTE *et al.*, 2005; DÁVILA *et al.*, 2007).

Los valores promedio de IKA obtenidos en el presente estudio (0,68 ind./km) se encuentran dentro de los rangos obtenidos para otras zonas del territorio español. Así, GONZÁLEZ-PRieto *et al.* (1993) obtienen valores de 1,96 ind./km, CARRETERO & ROSELL (2000) de 0,50 ind./km, PVMC-CODA (2003) valores de 0,49 ind./km para toda España y GOB (2001) estima IKAs que oscilan entre los 0,48 ind./km en invierno y primavera, y 1,44 ind./km en los meses de verano y otoño. SCV (2003) obtiene para el valle de Lozoya un IKA de 1,94. Este IKA es relativamente superior al estimado en el presente estudio para los tramos coincidentes, aunque SCV (2003) no muestreó equitativamente a lo largo

del año sino que incrementó el esfuerzo de muestreo en los meses de primavera, hecho que justificaría las diferencias. Nuestros datos muestran sin embargo una gran variabilidad según los tramos (Fig. 4), ya que tan solo 4 de los 13 recorridos están por encima del IKA promedio. Existe por tanto una diferencia clara entre tramos, que en la realidad corresponden a ambientes distintos. Los valores de IKA deben sin embargo tomarse con cautela, ya que como observa PMVC-CODA (2003) es muy variable en función del tipo de carretera, método de prospección, época del año y existe un factor de aleatoriedad no despreciable. Por ello se recomienda no usar los IKA individualizados por especie sino los IKA promedio. En nuestro caso el número de prospecciones y la metodología empleada se ajustan a las recomendaciones dadas por PMVC-CODA (2003) y podemos considerar que el valor obtenido es válido, siempre recordando que se trata de un IKA observado, presumiblemente inferior al real.

La temporalidad en los atropellos también es muy variable. Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que desde finales de otoño y durante todo el invierno el número de atropellos descende mucho, y son casi exclusivamente los mamíferos las especies localizadas atropelladas (Fig. 2 a 4). Analizando la temporalidad por clases, nuestros datos coinciden de forma general con los obtenidos por PMVC-CODA (2003). Según este estudio los anfibios se atropellan a principios de primavera y final del verano, los reptiles de mayo a octubre, las aves de junio a diciembre y los mamíferos de abril a septiembre, aunque están bien representados todo el año. En nuestro caso, y debido fundamentalmente a la altitud promedio de los tramos y la climatología en el Alto Lozoya, el aumento de los atropellos se retrasa un mes aproximadamente, tal y como puede verse claramente en los reptiles. Para las aves, el grupo mayoritariamente encontrado atropellado, el mayor número de ejemplares aumenta progresivamente de mayo a septiembre. Estos datos son concordantes con la mayor parte de los datos publicados (BERNARDINO & DALRYMPLE, 1992; RUDOLPH *et al.*, 1999; PMVC-CODA, 2003), que asocian los atropellos al periodo de mayor actividad reproductora. Este hecho sería igualmente válido para los reptiles, pero con ciertas diferencias en cuanto a anfibios y mamíferos.

La actividad de los anfibios está claramente regulada por la lluvia (SANTOS *et al.*, 2011), por lo que las diferencias interanuales pueden ser muy importantes. SCV (2003), en un estudio realizado en tres tramos del valle del Lozoya que incluyen los tramos 3R y 12L del presente estudio (Fig. 1), muestra la temporalidad de atropellos para el sapo común y el sapo corredor. Según este estudio la mayor parte de atropellos de estas dos especies se producen de finales de marzo a principios de mayo, por lo que difieren de los encontrados en el presente estudio (Fig. 2). Sin embargo, SCV (2003) presenta datos absolutos sin corregir para el esfuerzo de prospección, por lo que deben tomarse con reservas. En el presente estudio sí que existe en marzo un pico de atropellos, pero

éstos se mantienen en un nivel medio hasta otoño, momento en que se observa un nuevo repunte coincidiendo con las lluvias otoñales, de acuerdo con lo observado por LLORENTE *et al.* (2005) y GARRIGA *et al.* (2012), aunque estos autores encuentran muchos más atropellos en otoño que en primavera, debido al carácter otoñal de las principales lluvias en el clima mediterráneo. Así, SANTOS *et al.* (2011) indican que la asociación entre mortalidad de anfibios y lluvias es muy importante en las zonas con escasez e irregularidad de lluvias. Por otra parte, la mayor altitud de los tramos muestreados podría condicionar la actividad nocturna de los anfibios en otoño.

Para los mamíferos se acepta de forma general que existe una mayor tasa de atropellos (micromamíferos mayoritariamente) en otoño (KIKKAWA, 1964; FLOWERDEW, 2000; TORRE *et al.*, 2002; GARRIGA *et al.*, 2012), momento en que presentan mayores densidades poblacionales. Sin embargo, nuestros datos indican una representatividad similar a lo largo de todo el año, con un ligero incremento en primavera y verano. Estos datos son conformes con lo obtenido por GOB (2001) para Menorca y PMVC-CODA (2003) para todo el territorio español.

Si consideramos sólo los resultados de los dos tramos (3R y 12L) coincidentes con el estudio de la SCV (2003) nuestros resultados tampoco son concordantes, ya que la incidencia de los atropellos no se concentra mayoritariamente en los anfibios, sino que se reparte en estos dos tramos casi equitativamente para anfibios (28%), reptiles (28,8) y aves (28%), quedando los mamíferos relegados a un 9% y los no identificados un 6%.

Aunque no se ha encontrado ninguna relación entre el número de atropellos y el número de vehículos o el día de la semana, en concordancia con los resultados obtenidos por LLORENTE *et al.* (2005), la bibliografía existente indica que son las carreteras secundarias y las áreas protegidas donde se producen la mayor parte de atropellos (BERNARDINO & DALRYMPLE, 1992; DREWS, 1995; AMENT *et al.*, 2008; GARRIGA *et al.*, 2012; MARTÍNEZ-FREIRÍA & BRITO, 2012). Este mayor número de atropellos se asocia a la riqueza específica más elevada en los alrededores de las vías secundarias, dado su menor grado de fragmentación de hábitat (RODRIGUES *et al.*, 2004) y al mayor número de visitantes que tienen las áreas protegidas (GARRIGA *et al.*, 2012).

A nivel específico cabe destacar sin duda el gran número de ejemplares de lagarto verdinegro atropellados (Tabla 1). Esta especie se considera como casi amenazada (NT) por la UICN (UICN, 2012) y de especial interés en el Catálogo Regional de la Comunidad de Madrid. Sus atropellos no se concentran en un tramo en concreto (Fig. 7), sino que se distribuyen por la zona centro y sur del área estudiada. Dado el grado de amenaza es importante establecer medidas correctoras para este impacto, ya que como muchos autores han puesto de manifiesto las vías de comunicación constituyen una de las principales causas de fragmentación de las poblaciones (SANTOS *et al.*, 2011; MARTÍNEZ-FREIRÍA &

BRITO, 2012). Para disminuir la intensidad del impacto para los saurios en general debe mantenerse sin vegetación el margen y las cunetas de las carreteras (MONTORI *et al.*, 2003). Esto favorece que la superficie de termorregulación quede más alejada de la zona de circulación y se atropellen menos individuos.

De forma general podemos observar en la fig. 7 que los transectos situados en los alrededores de la confluencia de las dos carreteras muestreadas son los que presentan mayor incidencia, y donde deben concentrarse las prospecciones de cara a la continuación del seguimiento.

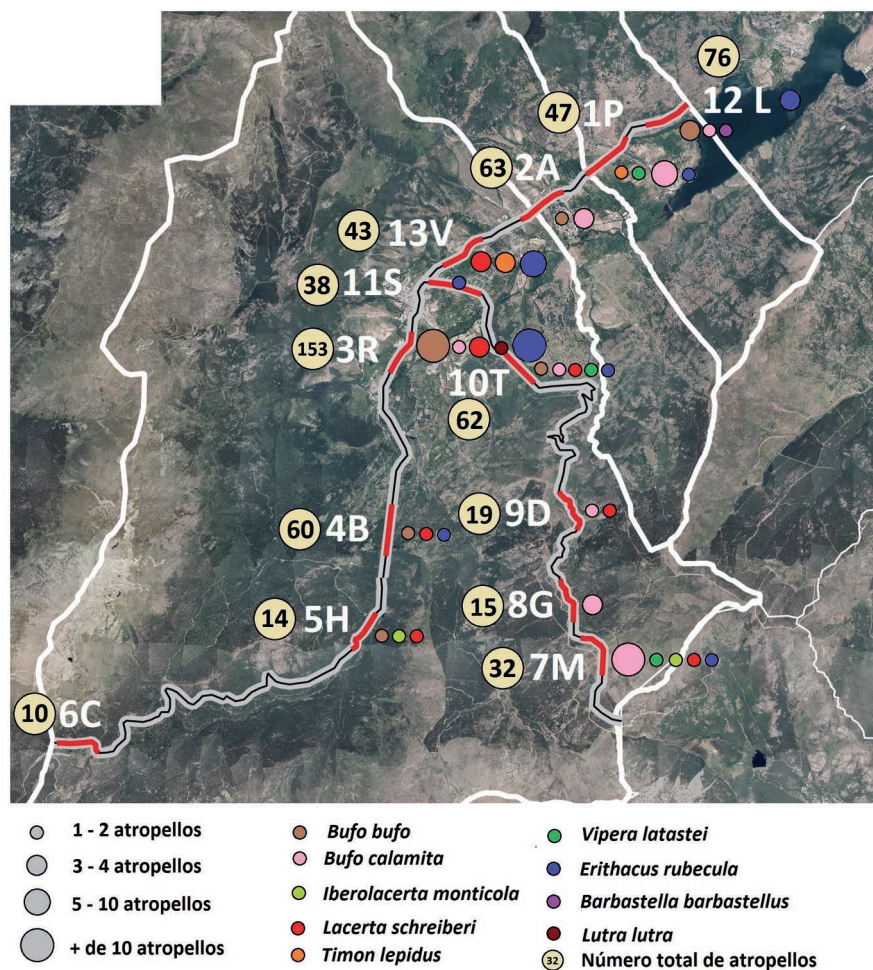


Fig. 7.- Distribución de los atropellos totales de las especies con alguna categoría de protección especial (ver Tabla 1) y de las dos especies más atropelladas (*Bufo bufo* y *Bufo calamita*).

Fig. 7.- Distribution of the roadkilled of those species including in conservation lists (see Table 1) and of the two most commonly killed species (*Bufo bufo* and *Bufo calamita*).

Combinando estos resultados con los obtenidos en el análisis temporal y por tramos (Fig. 3 y 4 y tabla 2), podemos determinar que el muestreo óptimo estaría caracterizado por tres condiciones: periodo de muestreo de marzo a septiembre, 40 muestreos por año y 4 tramos. Con ello se reduce sustancialmente el esfuerzo de muestreo sin que los resultados obtenidos se alteren de forma significativa. En conclusión, concentrando los transectos en los tramos 3R, 13V, 10T Y 12L no perdemos información remarcable sobre el impacto, lo que permite una continuidad del estudio a largo plazo.

## AGRADECIMIENTOS

---

Queríamos mostrar nuestro agradecimiento a la Jefatura del Cuerpo de Agentes Forestales de la Comunidad de Madrid por las facilidades mostradas para la realización del trabajo de campo para el presente estudio. También, y muy especialmente, a todos los Agentes Forestales de la Comarca del Parque Natural de Peñalara, porque sin su trabajo habría sido imposible llevar el barco a buen puerto. Finalmente, agradecer a una serie de personas y empresas que han colaborado de forma totalmente desinteresada asesorando puntualmente, facilitando datos sueltos de atropellos o no retirando de las carreteras los animales atropellados; ellos son, respectivamente, Jaime Bosch, Javier de la Puente Nilsson y GRUPEMA, S.L. También agradecer a Luis Navalón la ayuda en la elaboración de la cartografía. Por último, agradecer a la Guardia Civil del puesto de Rascafría por su comprensión y complicidad.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- ALVAREZ-BALÍS, I., FREÁN-HERNÁNDEZ, M. M. 1991. Vertebrados atropellados en dos carreteras orensanas. Primer informe. *Jornadas mortalidad vertebrados en carreteras*. Madrid: 239-251.
- AMEN T, R., CLEVINGER A.P., YU O., HARDY A. 2008. An assessment of road impacts on wildlife populations in U.S. National Parks. *Environ Manag.* 42: 480–496.
- ARAGONESES, J., MARTÍNEZ, F., RUIZ, J. B. 1993. En las salinas de Santa Pola se producen 6.000 atropellos de vertebrados cada año. *Quercus* 83: 20-21.
- ASHLEY E.P., ROBINSON, J.T. 1996. Road mortality of amphibians, reptiles and other wildlife on the long point causeway, Lake Erie, Ontario. *Can. Field Nat.* 110: 403–412.
- BABILONI-GONZÁLEZ, G. 1991. Informe provisional del seguimiento de la mortalidad de vertebrados en las carreteras de la provincia de Barcelona. Septiembre 1991. *Jornadas mortalidad vertebrados en carreteras*. Madrid: 127-135.

- BALLASINA, D. 1989. Toads on Roads' in Belgium. In: *Amphibians and roads*. T.E.S. Langton (Ed.): 83-88. ACO Polymers products. England.
- BERNARDINO F.S., DALRYMPLE, G.H. 1992. Seasonal activity and road mortality of the snakes of the Pa-hay-okee wetlands of Everglades National Park, USA. *Biol. Conserv.* 62: 71-75.
- CARRETERO, M.A., ROSELL, C. 2000. Incidencia del atropello de anfibios, reptiles y otros vertebrados en un tramo de carretera de construcción reciente. *Bol. Asoc. Herpetol. Esp.* 11: 40-44.
- CIFUENTES-TORRES, A., GARCÍA-OÑATE, B. 1991. Mortalidad de anfibios en carreteras de la provincia de Pontevedra. *Jornadas mortalidad vertebrados en carreteras*. Madrid: 231-238.
- CLEVINGER, A. P., CHRUSZCZ, B., GUNSON, K. E. 2003. Spatial patterns and factors affecting small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biol. Conserv.* 109: 15-26.
- DÁVILA, A., TERRONES, B., CANTÓ, J.L., BONET, A. 2007. Mortalidad de vertebrados por atropello en la carretera CV-797 de acceso al Santuario de la Font Roja, años 200-2006. *Iberis* 5:38-53.
- DREWS, C. 1995. Road kills of animals by public traffic in Mikumi National Park, Tanzania, with notes on baboon mortality. *Afr. J. Ecol.* 33: 89-100.
- FAHRIG, L., RYTWINSKY, T. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecol. and Soc.* 14: 21.
- FLOWERDEW, J.R. 2000. Wood Mice – Small Granivores/Insectivores with Seasonally Variable Patterns. In: *Activity patterns in small mammals*. S. Halle,N.C. Stenseth (eds.): 177-189. Springer. Heidelberg.
- FORMAN, R.T.T., ALEXANDER, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 29: 207-231.
- FORMAN, R.T.T., SPERLING, D., BISSONETTE, J.A., CLAVINGER, 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., WINTER, T.C. 2003. *Road ecology: Science and solutions*. Island Press. Washington DC.
- FREÁN-HERNÁNDEZ, M.M., VILLARINO, A., ALVAREZ-BALÍS, I., GONZÁLEZ-PRÍETO, S. 1992. Mortalidad de vertebrados por atropello en las riberas del Miño en Orense. *II Simposio Nacional sobre carreteras y medio ambiente*. Las Palmas de Gran Canaria: 371-375.
- FRÍAS, O. 1999. Estacionalidad de los atropellos de aves en el centro de España: número y edad de los individuos y riqueza y diversidad de especies. *Ardeola* 46(1): 23-30.
- GARRIGA, N., SANTOS, X., MONTORI, A., RICHTER-BOIX, A., FRANCH, M., LLORENTE, G. A. 2012. Are protected areas truly protected? The impact of road traffic on vertebrate fauna. *Biol. Conserv.* 21:2761-2774.

- GIBBS, J.P., SHRIVER, W.G. 2002. Estimating the effects of road mortality on turtle populations. *Conserv. Biol.* 16: 1647–1652.
- GIBBS, J.P., SHRIVER, W.G. 2005. Can road mortality limit populations of pool–breeding amphibians? *Wetl. Ecol. Manag.* 13: 281–289.
- GLISTA, D.J., DEVULT, T.L., DEWOODY, J.A. 2007. Vertebrate road mortality predominantly impacts amphibians. *Herpetol. Conserv. Biol.* 3: 77–87.
- GOB MENORCA. 2001. *Seguiment de la mortalitat de vertebrats en carretera*. Memoria inédita. Disponible en web: <http://www.obsam.cat/documents/informes/seguiment-mortalitat-vertebrats-carretera.pdf>.
- GONZÁLEZ-PRIETO, S., VILLARINO, A., FREÁN-HERNÁNDEZ, M.M. 1991. Mortalidad de vertebrados en el tramo Ourense-Penalba de la CN-120 durante 1989. *Jornadas mortalidad vertebrados en carreteras*. Madrid: 252-266.
- GONZÁLEZ-PRIETO, S., VILLARINO, A., FREÁN-HERNÁNDEZ, M.M. 1993. Mortalidad de vertebrados por atropello en una carretera nacional del NO de España. *Ecología* 7: 375-389.
- HARTMANN, P.A., HARTMANN, M.T., MARTINS, M. 2011. Snake road mortality in a protected area in the Atlantic forest of southeastern Brazil. *S. A. J. Herpetol.* 6: 35–41.
- HODSON, N.L. 1960. A survey of vertebrate road mortality 1959. *Bird Study* 7: 224–231.
- HODSON, N.L. 1962. Some notes on the casualties of bird road casualties. *Bird Study* 9: 168-173.
- HURTUBIA, J. 1973. Trophic diversity measurements in sympatric predatory species. *Ecology* 54: 885-890.
- IUCN 2012. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2012.1. Disponible en web: <http://www.iucnredlist.org>.
- JAARSMA, C.F., VAN LANGEVELDE, F., BOTMA, H. 2006. Flattened fauna and mitigation: traffic victims related to road, traffic, vehicle, and species characteristics. *Transport Res D-Tr E* 11: 264–276.
- JAKOB, C., POIZAT, G., VEITH, M., SEITZ, A., CRIVELLI, A.J. 2003. Breeding phenology and larval distribution of amphibians in a Mediterranean pond network with unpredictable hydrology. *Hydrobiologia* 499: 51–61.
- KIKKAWA, J. 1964. Movement, activity and distribution of the small rodents *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus sylvaticus* in woodland. *J. Anim. Ecol.* 33: 259–299.
- LESBARRÈRES, D., PAGANO, A., LODÉ, T. 2003. Inbreeding and road effect zone in a Ranidae: the case of agile frog, *Rana dalmatina* Bonaparte, 1840. *C.R. Biologies* 326:68–S72.
- LIZANA, M. 1993. Mortalidad de anfibios y reptiles en carreteras: Informe sobre el estudio AHE-CODA. *Bol. Asoc. Herpetol. Esp.* 4: 37-41.

- LIZANA, M. 2002. *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758). In: *Atlas y libro rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. J. M. Pleguezuelos, R. Márquez, M. Lizana (Eds.):109-112. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Asociación Herpetológica Española. Madrid.
- LIZANA, M., BARBADILLO, L. J. 1997. Legislación, protección y estado de conservación de los anfibios y reptiles españoles. In: *Distribución y biogeografía de los Anfibios y Reptiles en España y Portugal* J. M. Pleguezuelos ( Ed.):477-516. Universidad de Granada, Asociación Herpetológica Española. Granada.
- LIZANA, M., DORDA, J. 1992. La mortalidad de los anfibios y reptiles en las carreteras. *I Jornadas para el estudio y prevención de la mortalidad de vertebrados en carreteras*. Madrid: 35-44. Bol. CODA.
- LLORENTE, G.A., GARRIGA, N. MONTORI, A., RICHTER-BOIX, A., SANTOS, X. 2005. *Incidència de les carreteres sobre els amfibis i els rèptils de Catalunya*. Memòria inèdita. Universidad de Barcelona.
- LÓPEZ REDONDO, J. 1992a. Puntos negros: Criterios de valoración y primeros puntos catalogados. *I Jornadas para el estudio y prevención de la mortalidad de vertebrados en carreteras*. Madrid:358-366. Bol. CODA.
- LÓPEZ REDONDO, J. 1992b. Carreteras que constituyen puntos negros para vertebrados. Criterios de valoración y puntos catalogados hasta el momento. *II Simposio Nacional sobre Carreteras y Medio Ambiente*. Las Palmas de Gran Canaria
- LÓPEZ REDONDO, J., LÓPEZ FERNÁNDEZ, L.R. 1992. Resultados provisionales del seguimiento de la mortalidad del camaleón (*Chamaeleo chamaeleon*) en las carreteras de Cádiz, Málaga y Huelva. En: *Jornadas para el estudio y prevención de la mortalidad de vertebrados en carreteras*. Vol. 2.J.López Redondo (Ed.): 267-279. Coda. Madrid.
- MALO, J.E., SUÁREZ, F., DíEZ, A. 2004. Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *J. Appl. Ecol.* 41: 701-710.
- MARCHAND, M.N., LITVAITIS, J.A. 2004. Effects of habitat features and landscape composition on the population structure of a common aquatic turtle in a region undergoing rapid development. *Conserv. Biol.* 18: 758-767.
- MARSHALL, I. C., CORNER, A., TATTERSFIELD, P. 1995. An amphibian mitigation scheme for the A34 Wilmslow and Handforth Bypass, Cheshire, United Kingdom. In: *Habitat fragmentation and infrastructure-proceedings*. K. Canters (Ed.):227-237. The Hague.
- MARTÍNEZ-FREIRÍA, F., BRITO, J.C. 2012. Quantification of road mortality for amphibians and reptiles in Hoces del Alto Ebro y Rudrón Natural Park in 2005. *Basic Appl. Herpetol.* 26. En prensa.
- MAYOL, J. 1991. Mortalidad de *Tarentola mauritanica* en caminos rurales de Menorca. Nota preliminar. *Jornadas mortalidad vertebrados en carreteras*. Madrid: 280-281.

- MONTORI, A., LLORENTE, G. A., CARRETERO, M. A., SANTOS, X. 2001. La gestión forestal en relación con la herpetofauna. In: *Conservación de la biodiversidad y gestión forestal. Su aplicación en la fauna vertebrada*. J. Camprodon, E. Plana (Eds.): 251-289. Edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona.
- MONTORI, A., LLORENTE, G.A., SANTOS, X., RICHTER-BOIX, A., GARRIGA, N. 2003. Incidència dels atropellaments sobre l'herpetofauna al Parc del Garraf. Eix viari Olivella-Rat-Penat. IV Trobada d'Estudiosos del Garraf. *Monografies* 37: 107 -112.
- MONTORI, A., LLORENTE, G.A., CARRETERO, M.A., SANTOS, X., RICHTER-BOIX, A., FRANCH, M. GARRIGA, N. 2007. Bases para la gestión forestal en relación con la herpetofauna. In: *Conservación de la Biodiversidad y gestión forestal: Su aplicación en la fauna vertebrada*. J. Camprodon, E. Plana (eds.): 275 – 335. Edicions de la Universitat de Barcelona-Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.
- PIELOU, E.C. 1966. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *J. Theo. Biol.*10: 370-383.
- PIELOU, E.C. 1975. *Ecological diversity*. Wiley. New York.
- PINOWSKI, J. 2005. Roadkills of vertebrates in Venezuela. *Rev. Bras. Zool.* 22: 191–196.
- PMVC-CODA. 1993. Millones de animales mueren atropellados cada año en las carreteras españolas. *Quercus* 83: 12-19.
- PMVC-CODA. 2003. *Mortalidad de vertebrados en carreteras. Proyecto provisional de seguimiento. de la mortalidad de vertebrados en carreteras (PMVC)*. SCV. Madrid. Documentos Técnicos de Conservación; 4
- PODLOUCKY, R. 1989. Protection of amphibians on roads -examples and experiences from Lower Saxony. In: *Amphibians and roads*. T.E.S. Langton (Ed.):15-28. ACO Polymers products. England.
- RAMP, D., WILSON, V.K., CROFT, D.B. 2006. Assessing the impact of roads in peri-urban reserves: Road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biol. Conserv.* 129: 348–359.
- RIVAS-MARTÍNEZ, J., LOIDI, S. 1999. Bioclimatology of the Iberian Peninsula. *Iter Ibericum A.D. MIM. Itinera Geobot.* 13: 41-47.
- RODRIGUES, A.S.L., ANDELMAN, S.J., BAKARR, M.I., BOITANI, L., BROOKS, T.M., COWLING, R.M., FISHPOOL, L.D.C., DA FONSECA, G.A.B., GASTON, K.J., HOFFMANN, M., LONG, J.S., MARQUET, P.A., PILGRIM, J.D., PRESSEY, R.L., SCHIPPER, J., SECHREST, W., STUART, S.N., UNDERHILL, L.G., WALLER, R.W., WATTS, M.E.J., YAN, X. 2004. Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature* 428: 640–643.
- RUDOLPH, C., BURGDORF, S., CONNER, R., SCHAEFER, R. 1999. Preliminary evaluation of the impact of roads and associated vehicular traffic on snake populations in eastern Texas. In: *Proceedings of the third international conference on wildlife ecology and transportation*. G.L. Evink, P. Garrett, D. Zeigler (Eds):129-136. Florida Department of Transportation. Tallahassee, Florida.

- RUIZ, X., JOVER, L. 1981. Tipificación trófica de poblaciones mediante estimas de la dominancia y de la diversidad. *XV Congreso Internacional de Fauna Cinegética y Silvestre*. Trujillo, Cáceres.
- RYSER, J., GROSSENBACHER, K. 1989. A survey of amphibian preservation at roads in Switzerland. In: *Amphibian and roads*. T. E. S. Langton (Ed.): 7-13. Rendsburg, Germany.
- SANTOS, S., CARVALHO, F., MIRA, A. 2011. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence rates and implications for road-kill monitoring surveys. *PLoS One* 6(3): e25383. doi:10.1371/journal.pone.0025383.
- SANTOS, X., LLORENTE, G. A., MONTORI, A., CARRETERO, M. A., FRANCH, M., GARRIGA, N., RICHTER-BOIX, A. 2007. Evaluating factors affecting amphibian mortality on roads: the case of the Common Toad *Bufo bufo*, near a breeding place. *Animal Biodivers. Conserv.* 30(1): 97-104.
- SAUNDERS, D.A., HOBBS, R.J. MARGULES, C.R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conserv. Biol.* 5: 18-32.
- SCV. 2003. *Una población de sapo común y corredor está seriamente amenazada en el valle de Lozoya (Madrid)*. Informe inédito. Disponible en web: <http://scv-conservacion.webcindario.com/atropelloslozoya/atropelloslozoya.html>.
- SMITH, L.L., DODD, K.C. JR. 2003. Wildlife mortality on U.S. Highway 441 across Paynes Prairie, Alachua County, Florida. *Florida Scient.* 66: 128-140.
- STEEN, D. A., GIBBS, J. P. 2004. Effects of Roads on the Structure of Freshwater Turtle Populations. *Conserv. Biol.* 18: 1143-1148. doi: 10.1111/j.1523-1739.2004.00240.x
- TAYLOR, B.D., GOLDINGAY, R.L. 2004. Wildlife road kills on three major roads in north-eastern New South Wales. *Wildlife Res.* 31: 83-91.
- TORRE, I., ARRIZABALAGA, A., DÍAZ, M. 2002. Ratón de campo (*Apodemus sylvaticus* Linnaeus, 1758). *Galemys* 14: 1-26.
- TROMBULAK, S.C., FRISSELL, C.A. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conserv. Biol.* 14: 18-30.
- WITTMAYER, G., ELSEN, P., BEAN, W.T., COLEMAN, A., BURTON, O., BRASHARES, J.S. 2009. Accelerated human population growth at protected area edges. *Science* 321:123-126
- ZUIDERWIJK, A. 1989. Amphibian and reptile tunnels in the Netherlands. In: *Amphibians and roads*. T.E.S. Langton (Ed.): 67-74. ACO Polymers products. England.



- Fecha de recepción/Date of reception: 01.08.2012  
 - Fecha de aceptación/ Date of acceptance: 07.11.2012