



**Universidad Complutense de Madrid  
Máster Universitario en Zoología**

# **Patrones de mortalidad de la mastofauna extremeña en relación con infraestructuras lineales de transporte.**

**- Trabajo Fin de Máster -**



**Miriam Herrero Torres**

Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución

Facultad de Ciencias Biológicas

**Noviembre, 2018**

**El/La autor/a:** Miriam Herrero Torres

**El/La tutor/a:** José Ignacio Aguirre de Miguel

**Fdo.:**  \_\_\_\_\_

**Fdo.:** **José Ignacio Aguirre de Miguel**  
Depto. Biodiversidad, Ecología y Evolución. Facultad de Ciencias Biológicas, UCM.

**El/la tutor/a:** Francisco José García González

**El/la tutor/a:**

**Fdo.:**  \_\_\_\_\_  
**Departamento y Centro**

**Fdo.:** \_\_\_\_\_  
**Departamento y Centro**



## ANEXO I: DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

D./Dña. Miriam Herrero Torres con NIF 49140667V, estudiante de Máster en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Complutense de Madrid en el curso 2017-2018, como autor/a del trabajo de fin de máster titulado. Patrones de mortalidad de la mastofauna extremeña en relación con infraestructuras lineales de transporte

y presentado para la obtención del título correspondiente, cuyo/s tutor/ es/son:

José Ignacio Aguirre de Miguel y Francisco José García González

---

### DECLARO QUE:

El trabajo de fin de máster que presento está elaborado por mí y es original. No copio, ni utilizo ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones de cualquier obra, artículo, memoria, o documento (en versión impresa o electrónica), sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía. Así mismo declaro que los datos son veraces y que no he hecho uso de información no autorizada de cualquier fuente escrita de otra persona o de cualquier otra fuente.

De igual manera, soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estos extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

En Madrid, a 14 de Noviembre de 2018

Fdo.: Miriam Herrero Torres

Esta DECLARACIÓN debe ser insertada en primera página de todos los trabajos fin de máster conducentes a la obtención del Título

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>MÉTODOS</b> .....	<b>9</b>
<i>ANÁLISIS ESPACIAL</i> .....	10
<i>ANÁLISIS DESCRIPTIVO</i> .....	10
<i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i> .....	11
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>12</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>28</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>28</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>29</b>

## Resumen

La presencia de infraestructuras lineales de transporte supone una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad, y la mortalidad por atropello representa uno de los principales impactos de las carreteras sobre la fauna salvaje. En este trabajo se ha observado el efecto de las carreteras sobre la mastofauna extremeña. El objetivo principal es aumentar el conocimiento que tenemos sobre esta amenaza, con la finalidad de que se puedan realizar medidas más eficientes para reducir el impacto de las infraestructuras lineales sobre la fauna. A partir de datos obtenidos mediante ciencia ciudadana, se han identificado las especies más afectadas y se ha estudiado qué patrones espacio-temporales podrían determinar su riesgo. Además, los datos han sido analizados para comprobar la relación existente entre la distribución de los datos y la presencia de espacios de la Red Natura 2000, así como para comprobar el grado de correspondencia entre la distribución de los atropellos y su distribución según los mapas de presencia/ausencia del Inventario Español de Especies Terrestres. Por otro lado, con el objetivo de facilitar planes de acción sobre estas fuentes de mortalidad de fauna, se han señalado aquellas zonas potencialmente peligrosas, clasificándolas según el grado de impacto para la mastofauna.

**Palabras clave:** atropellos, mamíferos, Extremadura, patrones mortalidad, puntos negros.

## Abstract

Linear land transport infrastructures represent one of the biggest threats for biodiversity conservation. Road-kills fauna mortality represents one of the main impacts of roads over wild fauna. This work evaluates the impact of roads over mammalian fauna in Extremadura (Western Spain). The main goal is to increase the knowledge over such threat in order to achieve efficient mitigation actions to lower infrastructure impact over fauna. Using citizen science, a set of data was collected to identify the most vulnerable species and evaluate risk assessments under spatial-temporal traits. In addition, data were analyzed to evaluate potential relationships between them and protected areas under Natura 2000 network. In the same way, it was also analyzed the overlap of road-kill reports and species distribution according to presence-absence maps

of the Spanish Terrestrial Species Inventory. Furthermore, we provide a potentially dangerous areas map to facilitate the implementation of action plans over this particular threat to mammalian fauna.

**Key words:** roadkills, mammals, Extremadura, mortality, hotspots.

## Introducción

En la actualidad una red de carreteras bien planeada desempeña un papel fundamental en las estrategias de integración territorial de los países, aportando calidad de vida y proporcionando un mayor desarrollo social y económico (Español, 2007). Sin embargo, la presencia de carreteras y su constante crecimiento suponen una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad (Rosell *et al.*, 2002; Geneletti, 2006), provocando una vez más conflictos entre la conservación de la naturaleza y los intereses socioeconómicos.

La construcción de infraestructuras lineales de transporte tiene como consecuencia numerosos impactos sobre la flora y la fauna, que están relacionados con la contaminación y la alteración del funcionamiento de los ecosistemas, la pérdida y fragmentación del hábitat, el efecto barrera y, especialmente, la alta mortalidad provocada por la colisión contra los vehículos, que resulta ser el impacto negativo más evidente de estas infraestructuras sobre la fauna (Forman & Alexander, 1998; Forman, 2000; Rosell *et al.*, 2002; Arroyabe *et al.* 2006).

Este aumento de mortalidad en la fauna salvaje se considera el principal impacto directo, ya que se estima que mueren alrededor de 10 millones de vertebrados en España cada año como consecuencia de los atropellos (Caletrio *et al.*, 1996; Cupul, 2002; Rosell *et al.* 2002). El descenso del número de individuos producido por el aumento de la mortalidad y el aislamiento provocado por el efecto barrera, da lugar a un aumento de la endogamia, de las extinciones locales y a la desestructuración causada por la incidencia diferencial entre sexos y edad (Mumme *et al.*, 2000; Madsen *et al.*, 2002), ocasionando, en última instancia, desgaste genético y disminuyendo en gran medida el tamaño de las poblaciones locales (Jackson & Fahrig, 2011). Estas “zonas sumidero” suponen una importante amenaza sobre aquellas especies que se encuentran en los catálogos y listas rojas nacionales, haciendo más compleja su recuperación.

Este tipo de impactos afectan potencialmente a toda la fauna. Ciertos factores intrínsecos pueden determinar el impacto diferencial entre los distintos grupos animales, especies o individuos dentro de las poblaciones. Entre estos factores aparecen la abundancia, los comportamientos de evasión del tráfico, la capacidad de atravesar con éxito la calzada, las preferencias alimentarias (carroñeros y oportunistas), la inexperiencia de los individuos jóvenes, el tamaño de los territorios de cada especie, el tipo de locomoción y distintos patrones comportamentales que determinan la distribución y abundancia de atropellos de la fauna salvaje (Madsen *et al.*, 2002; Arroyabe *et al.*, 2006; Farhig & Rytwinski, 2009; Grosselet, 2009; Teixeira *et al.*, 2013b; Grilo *et al.*, 2018).

Como consecuencia de lo anteriormente descrito y según distintos estudios, los mamíferos (Clevenger *et al.*, 2003; Cuyckens *et al.* 2016; Bauni *et al.*, 2017), y en especial los carnívoros, son el grupo animal más perjudicado, cuyas poblaciones se ven más afectadas debido a sus estrategias reproductivas, que implican una baja densidad de población y baja fecundidad (Grilo *et al.*, 2009).

También cabe destacar que la abundancia y distribución de atropellos puede presentar variaciones a lo largo del año, de acuerdo con ciertos patrones estacionales de conducta como cortejo, migración, reproducción, apareamiento, dispersión, y la disponibilidad de alimento (Cupul, 2002, Arroyabe *et al.* 2006; Grilo *et al.* 2009; De La Ossa & Galvan-Guevara, 2015; Cuyckens *et al.* 2016; Canal *et al.* 2018). Estos patrones determinan la movilidad de los animales y su presencia o ausencia en determinados ambientes próximos a las carreteras.

Además de factores intrínsecos existen una serie de factores extrínsecos relacionados con las características propias de las carreteras, como son el tipo de vía, la anchura de la calzada, la señalización, los límites de velocidad, la densidad del tráfico, o incluso el tipo de vegetación próxima a la calzada (Jones, 2000; Carr & Farhig, 2001; Gunther *et al.*, 2001; Rico-Guzmán *et al.*, 2011; Canal *et al.*, 2018; Grilo *et al.*, 2018), los cuales influyen en la decisión de cruzar o evitar la carretera y en el éxito de los animales al atravesarlas.

Además, como factor extrínseco, las características del paisaje también han de ser tenidas en cuenta a la hora de estudiar la abundancia y distribución espacial de los atropellos (Bauni *et al.*, 2017), puesto que la fauna salvaje tiende a estar asociada a hábitats específicos (Clevenger *et al.*, 2003; Colino, 2011; D'Amico, 2015) que les brindan una serie de recursos ligados a la supervivencia del individuo. Normalmente las

vías de comunicación suponen la fragmentación de estos hábitats, lo que aumenta la siniestralidad en las carreteras próximas cuando los animales intentan acceder a los recursos disponibles en ellos.

En este punto, cobra gran importancia la presencia de espacios naturales protegidos, ya que son zonas ricas y menos fragmentadas donde los animales buscan acceso a los recursos, y donde el efecto de las carreteras sobre las poblaciones de vertebrados se incrementa debido a la mayor diversidad y densidad de animales allí presentes (Bauni *et al.*, 2017). Esto agrava el hecho de que las redes de espacios protegidos corren el riesgo de ser entidades de conservación aisladas sin conectividad entre ellas, por lo que conservación de la biodiversidad necesita de la protección no solo de espacios separados, sino también del flujo y las conexiones entre estas zonas y de estas con el exterior (Adriaensen *et al.*, 2003), ya que fuera de estas áreas, la fragmentación y los cambios en la calidad del hábitat como consecuencia de las actividades antrópicas (Santos & Tellería, 2006) promueven la dispersión de los animales en la búsqueda de estos hábitats protegidos, aumentando la posibilidad de ser atropellados (Carvalho & Mira, 2011). Por esta razón es importante conocer si la protección de la fauna frente al efecto de las carreteras es la adecuada en estos espacios protegidos.

Por lo tanto, basándonos en esto, el estudio de la relación entre espacios naturales protegidos y la densidad de atropellos puede permitir comprobar si la designación de estos espacios supone una protección efectiva frente al impacto negativo que tienen las infraestructuras lineales sobre la fauna y en caso contrario plantear una nueva forma de gestión (Martín *et al.*, 2008), ya que las consecuencias de la mala planificación de las infraestructuras de transporte generalmente se manifiestan a largo plazo, cuando su gestión resulta muy complicada o el desarrollo de los procesos empobrecedores de la biodiversidad son irreversibles (Comisión Europea, 2003).

Además de esto, la recogida de datos de atropellos y el estudio de los mismos, pueden servir como fuente de información no solo de los patrones que afectan a la existencia o no de atropellos, sino también aportando conocimientos sobre las especies atropelladas, como la presencia, abundancia, aspectos de la estructura poblacional, estacionalidad de patrones comportamentales (Case, 1978), etc. Una de las ventajas de este tipo de estudios es que la información se puede obtener de forma sencilla, acudiendo a métodos que impliquen, además, la integración y concienciación de la

población, como es el caso de la ciencia ciudadana (Cohn, 2008; Finquelievich & Fischnaller, 2014).

El objetivo de este trabajo es encontrar los patrones espacio-temporales relacionados con los atropellos de la fauna. Se pretende conocer las especies más afectadas por los atropellos en la red de transportes de la región de Extremadura, señalar qué patrones determinan la presencia de estas colisiones, comprobar si existen variaciones estacionales en el número de atropellos y estudiar qué consecuencias tiene la presencia de espacios de la Red Natura 2000 sobre la mortalidad por colisiones.

Con estos objetivos esperamos encontrar una relación entre una alta densidad de infraestructuras y unos índices de atropello mayores, así como que la cercanía a los puntos de agua, los núcleos de población y las zonas protegidas también pueden provocar un aumento en las tasas de atropello.

Por otra parte, pretendemos detectar aquellas zonas de alta peligrosidad para la fauna, denominados puntos negros, comprobar si la designación de espacios naturales de la Red Natura 2000 supone una protección efectiva frente a los atropellos y verificar si los registros de presencias y ausencias, reflejados en el Inventario Español de Especies Terrestres, tienen su traducción en los atropellos registrados.

Para este estudio hemos centrado los esfuerzos en este efecto directo que tienen las infraestructuras de transporte sobre la mortalidad de la mastofauna, de forma que se tengan en cuenta a la hora de realizar medidas de mitigación, correctivas o preventivas dentro de la red de transportes de la Región de Extremadura.

## **Métodos**

En este trabajo presentamos los datos de mortalidad de mamíferos en las infraestructuras lineales de transporte extremeñas, recopilados gracias al trabajo voluntario de naturalistas integrantes del Grupo Ornitológico Cacereño (G.O.C.E) durante el periodo 2011 hasta el 2017. A partir de esta información se ha elaborado una base de datos con 1074 registros de atropellos de mamíferos. Cada registro cuenta con información sobre la especie, la fecha, el tipo de carretera, las coordenadas y en caso de no haberse asignado una coordenada, el punto kilométrico en que se reporta el atropello y la coordenada de dicho punto kilométrico.

### Análisis espacial

Con la base de datos elaborada, se ha utilizado una metodología basada en sistemas de información geográfico (SIG) con el programa Qgis (QGIS Development Team, 2018) con la que se ha creado un archivo espacial en el que se han representado los 1074 puntos de atropellos detectados en la red de comunicación de la región de Extremadura. Por otro lado, con el fin de determinar si las zonas de atropellos siguen una distribución al azar, se ha generado sobre la capa de red de comunicación de la región de Extremadura un segundo archivo espacial con 1074 puntos aleatorios. Tanto los puntos de atropellos como los puntos aleatorios se han superpuesto a las capas vectoriales de la red de comunicación, red hidrográfica, embalses, entidades de población, usos del suelo, series de vegetación, dominios del paisaje y Red Natura 2000 (tomadas de la página web de la Junta de Extremadura en la que se exponen los sistemas de información territorial de Extremadura, <http://sitex.gobex.es/SITEX/>). Esto se ha llevado a cabo para poder calcular las distancias de estos puntos a ríos, embalses, zonas urbanas y espacios de la Red Natura 2000, y determinar qué tipo de vía, uso de suelo, serie de vegetación y dominio del paisaje corresponde a cada punto. También se ha utilizado la información de presencia/ausencia de mamíferos contenida en el Inventario Español de Especies Terrestres para comprobar en qué medida se ajustan los puntos de atropello a esta información, con la cual se ha elaborado el Atlas y Libro Rojo de mamíferos terrestres de España.

### Análisis descriptivo

Con esta información obtenida del análisis espacial, se ha procedido, en primer lugar, a la realización de un análisis descriptivo. Con dicho análisis se han obtenido las especies más afectadas por la presencia de las redes de transporte. Asimismo, se ha podido observar que tipos de vías, clasificadas en cuatro categorías, según la red de carreteras de la Junta de Extremadura (Ley 7/1995, de 27 de abril, de carreteras de Extremadura y Ley 25/1988, de 29 de julio, de Carreteras), son las que causan una mayor mortalidad de la fauna y cuales son aquellos tipos de vegetación, usos de suelo y dominios del paisaje donde ocurren con mayor frecuencia los atropellos. A continuación, se ha estudiado como se relaciona la aparición o no de atropellos con la designación de una zona como espacio natural de la Red Natura 2000. Todo lo

anteriormente realizado con los puntos de atropellos se ha llevado a cabo igualmente con los puntos aleatorios y se han comparado los resultados obtenidos.

Para la realización de este análisis se han utilizado índices dividiendo el número de atropellos absolutos en cada tipo de vía entre los kilómetros de carretera de dicho tipo de vía. Esta corrección mediante la utilización de los índices también se ha llevado a cabo para el análisis de los tipos de vegetación, usos del suelo y dominios del paisaje dividiendo los puntos de atropellos ocasionados en cada categoría de estas diferentes variables entre los kilómetros de carreteras que discurren por ellos. Estos mismos índices se han calculado igualmente con los puntos aleatorios de forma que se pueda comparar los resultados con los puntos de atropello.

Por otra parte se ha observado la variación en la densidad de atropellos a lo largo de los meses del año para las diferentes especies y se ha comprobado la coincidencia de los puntos de atropello de las distintas especies superponiéndolas con las cuadrículas de presencia/ausencia de dichas especies contenidas en el mapa del Inventario Español de Especies Terrestres.

Por último, se ha procedido a la obtención de zonas de alta peligrosidad o puntos negros, lo cual se ha realizado mediante el conteo de puntos de atropello dentro de cuadrículas UTM de 10 por 10 kilómetros. Posteriormente se han calculado índices de atropello dividiendo el número de atropellos ocurridos en cada cuadrícula entre los kilómetros de carretera dentro de dicha cuadrícula. Estos índices se han calculado tanto para los puntos de atropello como para los puntos aleatorios. Los índices de los puntos aleatorios han servido para conseguir un criterio a la hora de considerar una determinada cuadrícula como punto negro, de forma que se han designado puntos negros a aquellas cuadrículas que poseían un índice de atropellos mayor que el promedio de los índices de puntos aleatorios. Los índices de estos puntos negros seleccionados se han clasificado en 4 categorías, proporcionando de esta manera diferentes niveles de impacto de las infraestructuras lineales para la mastofauna extremeña.

### Análisis estadístico

Para determinar la presencia de aquellos patrones que caracterizan la presencia de puntos de atropello se han construido modelos lineales generalizados (GLZ) con error binomial, identificando la existencia o no de atropellos y utilizando como variable

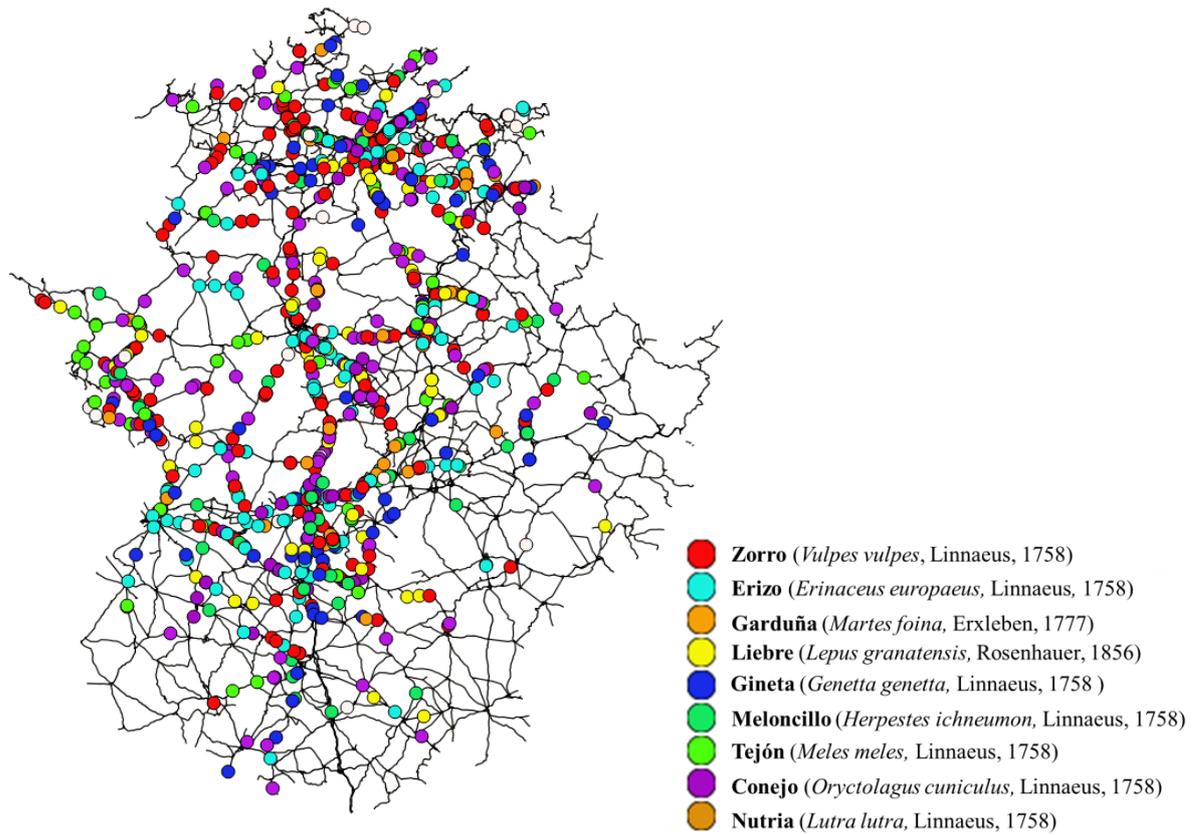
respuesta, el tipo de vía, el tipo de vegetación, el uso del suelo, el dominio del paisaje, el índice de la cuadrícula a la que pertenecen y la distancia a los puntos de agua, entidades de población y espacios de la Red Natura 2000. Se ha utilizado como variable aleatoria la cuadrícula UTM para evitar problemas de pseudoreplicación al poder existir varios puntos de atropello en una misma cuadrícula UTM.

El mismo modelo lineal generalizado se ha utilizado para analizar estas variables en especies concretas, estudiando la existencia o no de atropellos en las especies con más de 150 registros. Para la realización de este análisis se han obtenido el mismo número de puntos aleatorios que atropellos registrados de dicha especie.

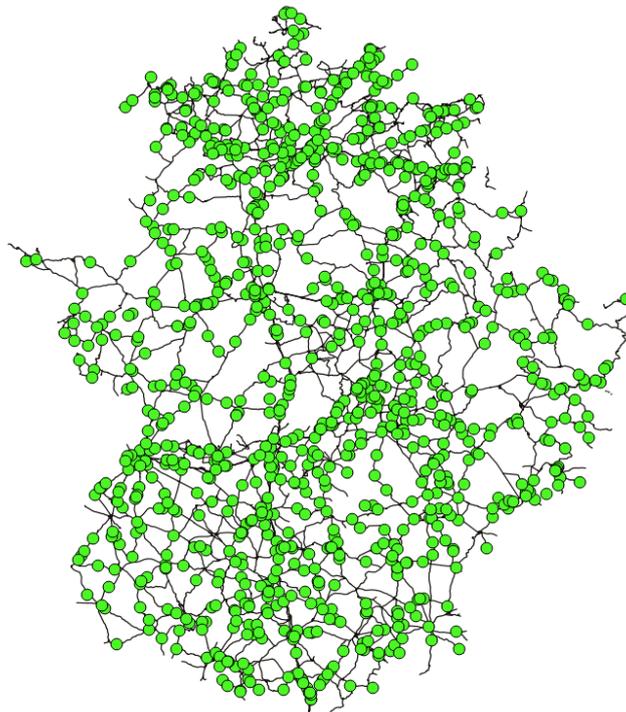
Previo a la construcción de los modelos, todas las variables han sido testadas para comprobar la normalidad y las correlaciones parciales.

## **Resultados**

A partir de la base de datos elaborada y mediante la utilización del sistema de información geográfico Qgis (QGIS Development Team, 2018) se han generado dos mapas de puntos. El primero (Figura 1) muestra la distribución de los puntos de atropellos de mamíferos en las vías de comunicación de la región de Extremadura. El segundo mapa (Figura 2) muestra la distribución de los puntos generados de forma aleatoria sobre las vías de comunicación de la región de Extremadura. La elaboración de estos mapas nos permitirá advertir cuan azarosas son las tendencias en los patrones de distribución de los atropellos.

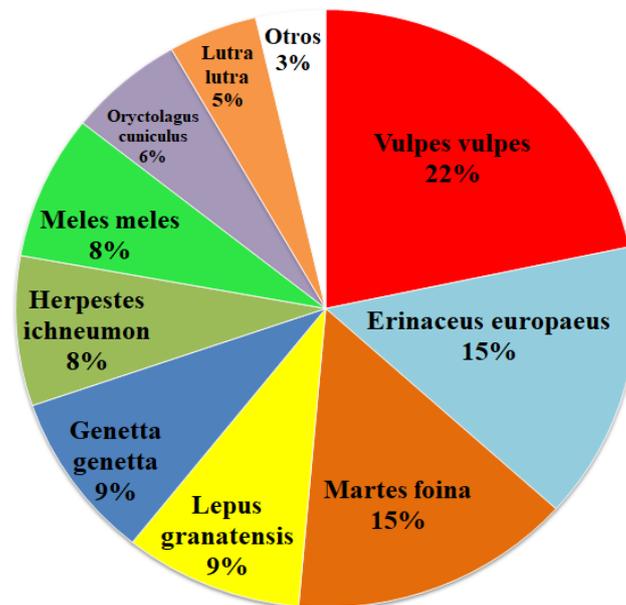


**Figura 1.** Mapa de distribución de los atropellos de las diferentes especies de mamíferos (zorro, erizo, garduña, liebre, gineta, tejón, meloncillo, conejo, nutria y otros) en los distintos tipos de vías de comunicación de la región de Extremadura. Cada color representa una especie.



**Figura 2.** Mapa de distribución de los puntos aleatorios generados en los diferentes tipos de vías de comunicación de la región de Extremadura.

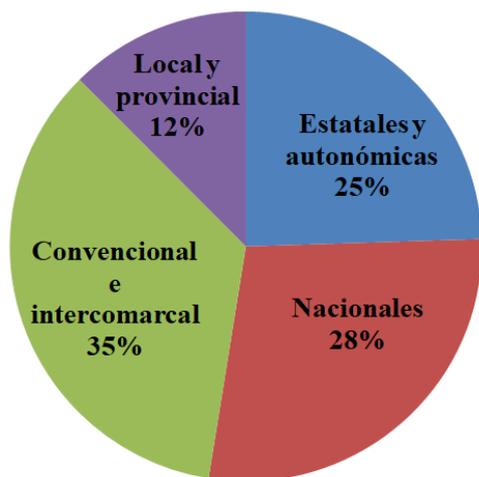
Los resultados del análisis descriptivo reflejan cuáles son aquellas especies de mamíferos más afectadas por la mortalidad en la red de transportes (Gráfica 1). Se ha podido observar que entre las diversas especies afectadas por estas infraestructuras, el zorro (*Vulpes vulpes*, Linnaeus, 1758) el erizo (*Erinaceus europaeus*, Linnaeus, 1758), y la garduña (*Martes foina*, Erxleben, 1777) son las especies con mayor incidencia, seguidos de la liebre (*Lepus granatensis*, Rosenhauer, 1856) la gineta (*Genetta genetta*, Linnaeus, 1758), el meloncillo (*Herpestes ichneumon*, Linnaeus, 1758) y el tejón (*Meles meles*, Linnaeus, 1758) cuya incidencia es moderada. Por último, las especies con un impacto menor son el conejo (*Oryctolagus cuniculus*, Linnaeus, 1758), la nutria (*Lutra lutra*, Linnaeus, 1758) y el grupo “otros” en los que se incluyen especies con un número escaso de registros: jabalí (*Sus scrofa*, Linnaeus, 1758), ciervo (*Cervus elaphus*, Linnaeus, 1758), topo (*Talpa sp.*, Linnaeus, 1758), ardilla (*Sciurus vulgaris*, Linnaeus, 1758), comadreja (*Mustela nivalis*, Linnaeus, 1766), turón (*Mustela putorius*, Linnaeus, 1758), murciélago de herradura (*Rhinolophus ferrumequinum*, Schereber, 1774) y rata (*Rattus sp.*, Fischer, 1803).



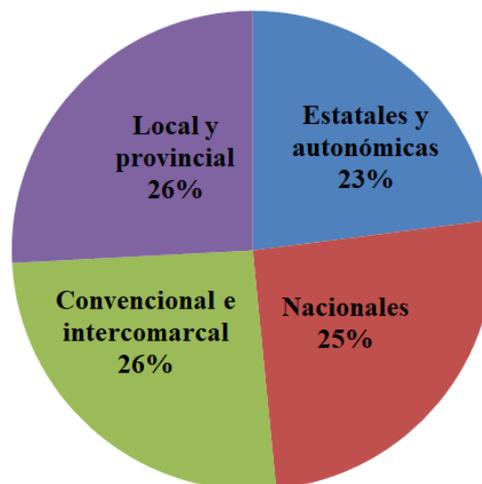
**Gráfica 1.** Porcentaje de atropellos de cada especie

Se observa como las especies de mesomamíferos ocupan los puestos de mayor representación entre las especies atropelladas (Gráfica1). Las tasas de atropellos diferenciales entre las especies de mamíferos de tamaño medio pueden tener relación con la abundancia de dichas especies o con patrones comportamentales que impliquen desplazamientos más largos, dando lugar a un mayor riesgo de atropello.

En lo referente a los tipos de vías en los que ocurre mayor número de atropellos, se han obtenido dos gráficas, una que expone el porcentaje de puntos de atropello según el índice en cada tipo de vía (Gráfica 2), y otra con los porcentajes de los puntos aleatorios según el índice en cada tipo de vía (Gráfica 3). Estas gráficas nos permiten comparar la distribución entre puntos de atropello y puntos aleatorios para cada tipo de vía según los kilómetros de carretera.



**Gráfica 2.** Porcentaje de atropellos en cada tipo de vía según el índice.

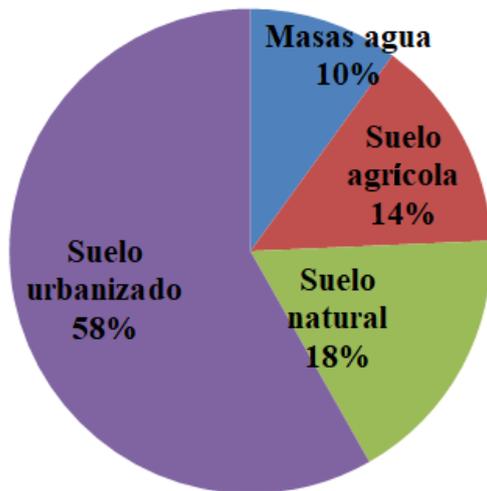


**Gráfica 3.** Porcentaje de puntos aleatorios en cada tipo de vía según el índice.

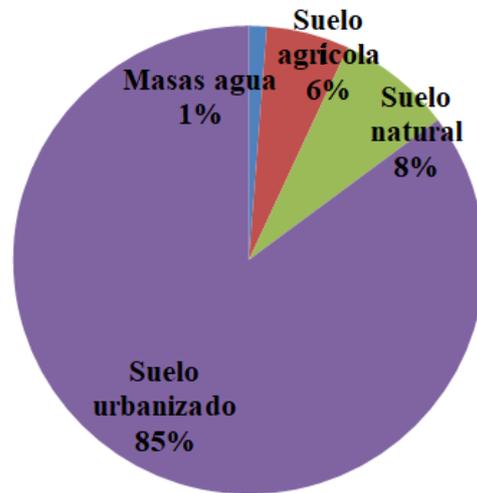
Estas gráficas nos muestra que existe una mayor densidad de atropellos en las carreteras convencionales e intercomarcales, que suelen ser carreteras de un solo carril para cada sentido, con alta densidad de tráfico y con fácil acceso para la fauna, en los que los límites de velocidad son relativamente altos (90 km/h) y que suelen estar rodeadas por zonas de mayor densidad de vegetación. Por el contrario, la densidad de atropellos en carreteras locales y provinciales es menor que en otras carreteras, probablemente debido a que son carreteras mucho menos transitadas, con unos límites de velocidad bajo (70 km/h) y de calzadas estrechas que permiten el paso de los animales con mayor facilidad (Jones, 2000).

También han sido analizadas otras características del entorno en el análisis descriptivo: la vegetación, el uso del suelo y el dominio del paisaje. Solo para la variable referente al uso del suelo aparecen diferencias entre la distribución de los puntos de atropello según el índice (Gráfica 4) y la de los puntos aleatorios (Gráfica 5). Se ha observado que en carreteras que transcurren por suelos urbanizados ocurren

menor número de atropellos de los que correspondería por azar. Esto, probablemente, sea consecuencia del distanciamiento de la fauna de la presencia humana, aumentando la probabilidad de que ocurran atropellos en zonas no urbanas donde la actividad humana es menor.



**Gráfica 4.** Porcentaje de atropellos en cada uso de suelo según el índice.



**Gráfica 5.** Porcentaje de puntos aleatorios en cada uso de suelo según el índice.

Cuando estudiamos el efecto que tiene la presencia de espacios de la Red Natura 2000 sobre la distribución de puntos de atropellos vemos que no existen diferencias entre ésta y la distribución de los puntos aleatorios, siendo similares los porcentajes de atropellos y los de puntos aleatorios que ocurren dentro de las zonas protegidas de la Red Natura 2000 (Tabla 1). Esto manifiesta que el hecho de que una zona este designada como espacio natural de la Red Natura 2000 no garantiza la protección frente al impacto de las infraestructuras de transporte. Un aspecto a tener en cuenta, es que la Red Natura 2000 esta principalmente diseñada en base a la información, y para la protección, de grupos taxonómicos como el de las aves, y no estan enfocadas a las necesidades de otros grupos como es el caso de los mamíferos.

Si además, nos enfocamos en los resultados a partir del índice obtenido dentro y fuera de la Red Natura 2000, podemos observa que estos valores son similares (Tabla 1), lo que refleja que los atropellos y los puntos aleatorios se distribuyen en relación a los kilómetros de carretera existentes dentro y fuera de las zonas protegidas de la Red Natura 2000. Al realizar los índices en base a los kilómetros cuadrados de superficie dentro y fuera de la Red Natura 2000 en lugar de en base a los kilómetros de carretera, el índice resultante es mayor fuera de la Red Natura (1,33) que dentro (3,11), lo que

indica que los kilómetros de carretera dentro de la Red Natura 2000 son menores en proporción a los kilómetros cuadrados de superficie. Estos resultados nos confirman que la Red Natura 2000 se asienta sobre una superficie en la que la densidad de carreteras es menor, lo que hace que las probabilidades de que la fauna sufra atropellos disminuya.

**Tabla 1.** Porcentaje de atropellos ocurridos fuera y dentro de zonas protegidas de la Red Natura 2000 en las diferentes especies y en el cómputo total de atropellos, así como los índices en base a los kilómetros de carretera.

<b>Especies</b>	<b>Fuera Red Natura 2000</b>	<b>Dentro Red Natura 2000</b>
<i>Vulpes vulpes</i>	85%	15%
<i>Erinaceus europaeus</i>	92%	8%
<i>Martes foina</i>	76%	24%
<i>Lepus granatensis</i>	73%	27%
<i>Genetta genetta</i>	85%	15%
<i>Herpestes ichneumon</i>	94%	6%
<i>Meles meles</i>	83%	17%
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	83%	17%
<i>Lutra lutra</i>	92%	8%
<b>Otros</b>	79%	21%
<b>Total atropellos</b>	84%	16%
<b>Total aleatorios</b>	84%	16%
<b>Índice atropello</b>	7,70	7,05
<b>Índice aleatorios</b>	7,69	7,09

En los atropellos por especies, las tasas dentro y fuera de las áreas protegidas son más o menos constantes, oscilando entre el 5% y el 30% de atropellos dentro de la Red Natura 2000 (Tabla 1).

Al comprobar si la distribución de los atropellos de las distintas especies se correspondía con la distribución de dichas especies según el mapa de presencia/ausencia del Inventario Español de Especies Terrestres se ha expuesto que más del 50% de los atropellos totales se producen fuera de las cuadrículas de presencia de la especie (Tabla 2). Esto puede indicar un insuficiente conocimiento de la distribución de los mamíferos en España, una inadecuada consideración de los comportamientos de desplazamiento de estos animales o una desactualización de los datos expuestos. Además, se observa la existencia de diferencias entre los porcentajes de las distintas especies de mamíferos, que oscilan entre el 20% y el 80% de individuos hallados fuera de la cuadrícula de presencia de la especie (Tabla 2), lo cual puede significar diferencias en la

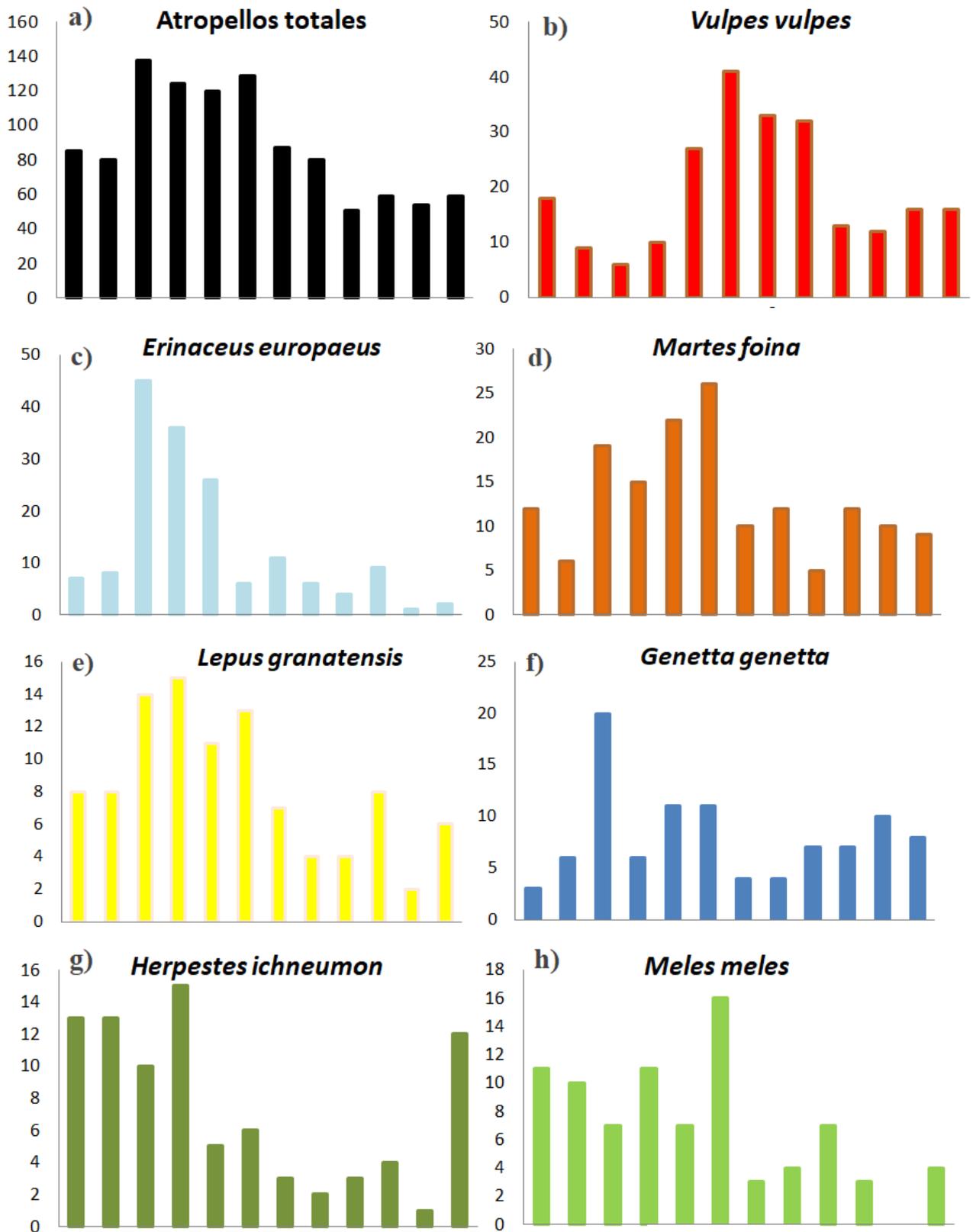
exhaustividad de los estudios de distribución entre las especies o a comportamientos de desplazamiento diferenciales no tenidos debidamente en cuenta.

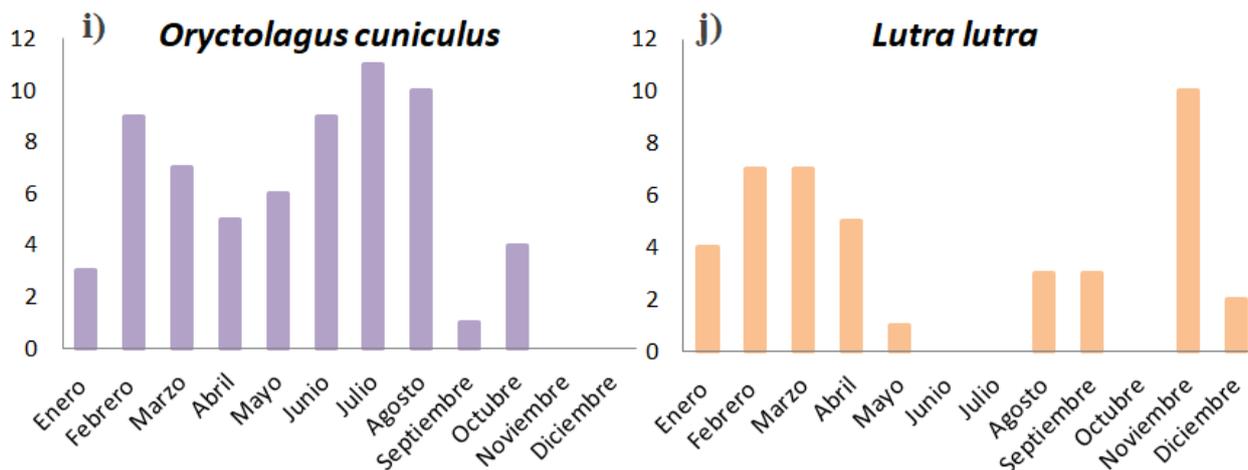
**Tabla 2.** Porcentaje de atropellos ocurridos dentro y fuera de las cuadrículas de presencia del Inventario Español de Especies Terrestres para las diferentes especies de mamíferos.

<b>Especies</b>	<b>Dentro de cuadrícula de presencia</b>	<b>Fuera de cuadrícula de presencia</b>
<i>Vulpes vulpes</i>	65%	35%
<i>Martes foina</i>	33%	67%
<i>Meles meles</i>	27%	73%
<i>Lutra lutra</i>	82%	18%
<i>Genetta genetta</i>	42%	58%
<i>Herpestes ichneumon</i>	21%	79%
<i>Erinaceus europaeus</i>	49%	51%
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	54%	46%
<i>Lepus granatensis</i>	38%	62%
<b>Total</b>	46%	54%

En relación a los estudios de la estacionalidad de las colisiones se observa que estas ocurren con mayor frecuencia en los meses de primavera y verano, lo cual coincide con los periodos dispersivos y reproductivos, cuando los movimientos de la fauna en busca de recursos es mayor. Al considerar la estacionalidad de las especies estudiadas de forma independiente observamos otros rasgos comportamentales, como en el caso del erizo, en el cual los atropellos se disparan hacia finales del invierno y principios de la primavera (Gráfica 6c) coincidiendo que el aumento de las temperaturas y, por tanto, con la salida de la hibernación (Blanco, 1998). El meloncillo y la nutria presentan irregularidades con respecto a la estacionalidad, mostrando tasas de atropellos contrarias a las mostradas por el resto de especies (Gráfica 6g y 6j). En el caso de la nutria, las hembras pueden entrar en celo durante todo el año y parir hacia finales de la primavera y el verano gracias a que presentan implantación diferida (Blanco, 1998)., esto explica la ausencia de atropellos durante este periodo (Gráfica 6j), en el cual se producen los nacimientos de las crías y por lo tanto los desplazamientos son menores

(PMVC, 2003). Lo mismo ocurre con el meloncillo en el que los meses de mayor tasa de atropellos coincide con las épocas de celo (Gráfica 6g).



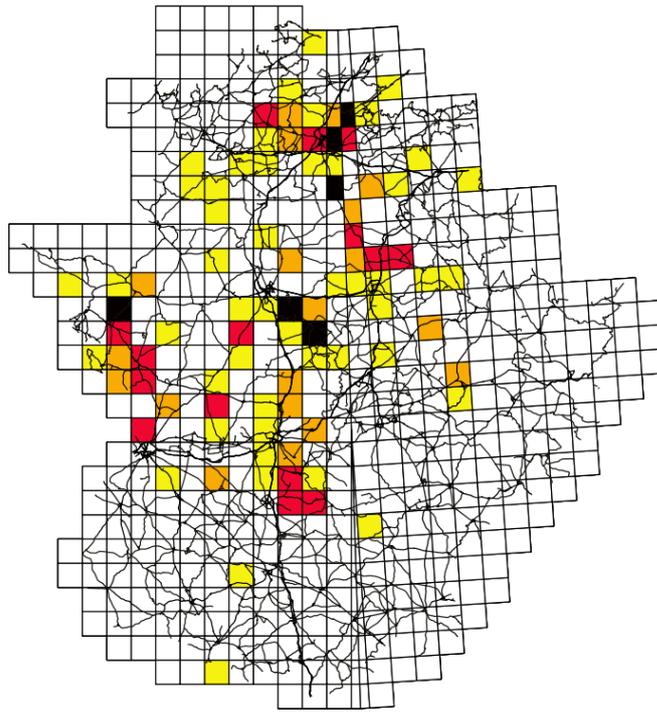


**Gráfica 6.** Estacionalidad de los atropellos de mamíferos de forma global y para las diferentes especies de mamíferos. El eje X muestra los diferentes meses del año y el eje Y señala el número de atropellos en valores absolutos.

Finalmente, con los puntos de atropellos y los índices calculados se han obtenido una serie de puntos negros. Se han considerado puntos negros aquellas cuadrículas UTM de 10×10 kilómetros cuyo índice de atropello superaba el promedio de los índices de puntos aleatorios (>10). Dichos puntos se han reunido en 4 categorías según el grado de impacto sobre la mastofauna (Tabla 3) y se han representado junto a la red de carreteras de la región de Extremadura (Figura 3).

**Tabla 3.** Número de puntos negros de atropellos de mamíferos clasificados según el grado de impacto que tiene sobre la mastofauna extremeña.

Grado de impacto	Índice	Número de puntos negros
<b>Extremo</b>	<b>Índice &gt;50</b>	<b>6</b>
<b>Alto</b>	<b>50 &gt; índice &gt; 30</b>	<b>15</b>
<b>Medio</b>	<b>30 &gt; índice &gt; 20</b>	<b>19</b>
<b>Bajo</b>	<b>20 &gt; índice &gt; 10</b>	<b>48</b>



**Figura 3.** Puntos negros sobre la red de comunicación de la región de Extremadura. El color negro representa los puntos de peligrosidad extrema, los rojos representan zonas de alta peligrosidad y los naranjas y los amarillos representan los puntos de media y baja peligrosidad respectivamente.

Los resultados obtenidos del modelo lineal generalizado (Tabla 4) muestran que existe una relación significativa negativa entre la existencia de atropellos y la distancia de estos a ríos ( $p < 0,001$ ) y embalses ( $p < 0,001$ ). Esto parece indicar que se producen más atropellos en zonas cercanas a masas de agua donde los animales se desplazan frecuentemente en busca de abundancia de recursos. Las zonas próximas a masas de agua son espacios valiosos para la fauna, ya que en zonas agrícolas los sistemas riparios son los únicos que mantienen buena cobertura de vegetación, proporcionándoles refugio además de actuar como corredores para los movimientos de fauna.

Se han visto también valores significativos para el tipo de vía ( $p < 0,001$ ), el uso de suelo ( $p < 0,001$ ) y una relación significativa positiva entre la existencia de atropellos y el índice calculado a partir de la densidad de carreteras ( $p < 0,001$ ) lo que nos muestra que los atropellos aumentan a medida que aumentan los kilómetros de carretera.

**Tabla 4.** Valores del Criterio de Información de Akaike para los distintos modelos de los patrones relacionados con la existencia de atropellos generales y los p-valor de cada parámetro en los distintos modelos.

Modelo	AIC	P-valor
<b>Dist.río + Dist.embalse + Tipo vía + Uso suelo + Índice</b>	<b>2405,9</b>	<b>(&lt; 0,001) + (&lt; 0,001) + (&lt; 0,001) + (&lt; 0,001) + (&lt; 0,001)</b>
Dist.embalse + Tipo vía + Uso suelo + Índice	2413,2	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Dist.río + Índice + Tipo vía	2416,5	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Índice + Tipo vía	2424,4	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Dist.río + Tipo vía	2424,4	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.río + Tipo vía + Uso suelo + Índice	2426	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.río + Índice + Tipo vía	2434,4	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Uso suelo + Tipo vía + Índice	2436	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Índice + Uso suelo	2444,8	(< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Dist.río + Índice + Uso suelo	2504,5	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Índice + Uso suelo	2511,6	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Dist.río + Índice	2515,9	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Índice	2523	(< 0,001) + (< 0,001)
Dist.río + Índice + Uso suelo	2526,3	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.río + Índice	2535,3	(< 0,001) + (< 0,001)
Índice + Tipo vía	2535,3	(< 0,001) + (< 0,001)
Índice	2544,8	< 0,001
Dist.río + Dist.embalse + Tipo vía + Uso suelo	2780,4	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Uso suelo + Tipo vía + Dist.embalse	2790,1	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Tipo vía	2807	(< 0,001) + (< 0,001)
Uso suelo + Tipo vía + Dist.río	2844	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Dist.río + Tipo vía	2856,9	(< 0,001) + (< 0,001)
Tipo vía + Uso suelo	2858,2	(< 0,001) + (< 0,001)
Tipo vía	2872,2	< 0,001
Dist.embalse + Dist.río + Uso suelo	2886,9	(< 0,001) + 0,001 + (< 0,001)
Dist.embalse + Uso suelo	2894,7	(< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Dist.río	2904,5	(< 0,001) + 0,001
Dist.embalse	2912,7	< 0,001
Dist.río + Uso suelo	2952,6	(< 0,001) + (< 0,001)
Uso suelo	2965	< 0,001
Dist.río	2966,6	< 0,001

Posteriormente a la obtención de los modelos lineales generalizados se realizó un análisis post hoc para conocer la relación entre los distintos niveles de las variables. El análisis post hoc para el tipo de vía mostró valores significativos negativos ( $p < 0,001$ ) para las carreteras locales-provinciales, apoyando los resultados del análisis descriptivo. En este mismo análisis para el uso de suelo se obtuvieron valores significativos negativos ( $p < 0,001$ ) para los suelos urbanos, lo que igualmente apoya los resultados de análisis descriptivo.

Los resultados de los análisis realizados para el zorro (Tabla 5), el erizo (Tabla 6) y la garduña (Tabla 7) muestran valores significativos positivos en relación con el índice ( $p < 0,001$ ) y valores significativos negativos para el tipo de vía ( $p < 0,001$ ) y la distancia a embalses ( $p < 0,001$ ) para las tres especies.

**Tabla 5.** Valores del Criterio de Información de Akaike para los distintos modelos de los patrones relacionados con la existencia de atropellos de zorro y los p-valor de cada parámetro en los distintos modelos.

Modelo Vulpes	AIC	P-valor
<b>Dist.embalse + Tipo vía + Índice</b>	<b>514,78</b>	<b>(&lt; 0,001) + (&lt; 0,001) + (&lt; 0,001)</b>
Tipo vía + Índice	519,45	(< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Índice	547,77	(< 0,001) + (< 0,001)
Índice	552,07	< 0,001
Dist.embalse + Tipo vía	607,94	(< 0,001) + (< 0,001)
Tipo vía	621,59	< 0,001
Dist.embalse	635,41	< 0,001

Al igual que en el análisis para los atropellos generales se han realizado análisis post hoc en las tres especies para el tipo de vía, que muestran valores significativos para las carreteras locales ( $p < 0,001$ ). En el erizo a pesar de salir como variable significativa el uso del suelo en el modelo (Tabla 6) el análisis post hoc no mostraba valores significativos ( $p=0,318$ ).

**Tabla 6.** Valores del Criterio de Información de Akaike para los distintos modelos de los patrones relacionados con la existencia de atropellos de erizo y los p-valor de cada parámetro en los distintos modelos.

Modelo Erinaceus	AIC	P-valor
Dist.embalse + Tipo vía +Uso suelo + Índice	350,92	(< 0,001) + (< 0,001) + 0,021 + (< 0,001)
Dist.embalse + Tipo vía + Índice	352,81	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001)
Tipo vía + Índice	358,47	(< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Uso suelo + Índice	362,4	(< 0,001) + (< 0,001) + 0,037 + (< 0,001)
Dist.embalse + Índice	363,32	(< 0,001) + (< 0,001)
Índice	369,27	< 0,001
Uso suelo + Índice	370,88	<b>0,316</b> + (< 0,001)
Dist.embalse + Tipo vía + Uso suelo	409,76	(< 0,001) + (< 0,001) + (< 0,001) + 0,037
Dist.embalse + Tipo vía	413,44	(< 0,001) + (< 0,001)
Dist.embalse + Uso suelo	423,17	(< 0,001) + 0,037
Dist.embalse	425,71	< 0,001
Tipo vía	432,23	< 0,001
Tipo vía + Uso suelo	432,94	(< 0,001) + 0,193
Uso suelo	450,08	<b>0,316</b>
Tipo vía + Uso suelo + Índice	2511,2	(< 0,001) + (< 0,001) + <b>0,193</b> + (< 0,001)

**Tabla 6.** Valores del Criterio de Información de Akaike para los distintos modelos de los patrones relacionados con la existencia de atropellos de garduña y los p-valor de cada parámetro en los distintos modelos.

Modelo Martes	AIC	P-valor
<b>Dist.embalse + Tipo vía + Índice</b>	<b>345,32</b>	<b>(&lt; 0,001) + (&lt; 0,001) + (&lt; 0,001)</b>
Dist.embalse + Tipo vía	347,66	0,001 + (< 0,001)
Tipo vía + Índice	347,66	(< 0,001) + (< 0,001)

Dist.embalse + Índice	361,69	(< 0,001) + (< 0,001)
Índice	364,75	< 0,001
Tipo vía	421,4	< 0,001
Dist.embalse	431,6	0,001

## Discusión

Gracias a este trabajo se ha obtenido información valiosa en los aspectos relacionados con los atropellos de mastofauna salvaje, dándose a conocer aquellas especies más afectadas. En este aspecto se ha de tener en cuenta la falta de representación de especies frecuentes en la fauna ibérica. Por un lado, la baja presencia de mamíferos de gran tamaño como el ciervo o el jabalí probablemente esté provocada por la retirada de los cadáveres de estos animales por parte de la Guardia Civil y el servicio de mantenimiento de carreteras, esto es debido a que su gran tamaño ocasiona daños de mayor gravedad tanto en los vehículos como en los pasajeros del mismo (Saenz de Santa María & Tellería. 2015). Además de esto, también es frecuente la recogida de los cuerpos por un sector de la población para consumo propio. Por otro lado, la baja representación de especies de mamíferos de pequeño tamaño se explica por una menor detectabilidad de sus cuerpos desde los vehículos (Teixeira *et al.*, 2013a).

También cabe destacar la ausencia de registros de gato montés (*Felis silvestris*, Schreber 1775) a pesar de que según el mapa de distribución del Inventario Español de Especies Terrestres hay presencia de gato montés en la zona estudiada. La falta de registros puede deberse a la dificultad de diferenciación entre el gato montés y el gato doméstico (*Felis silvestris catus*, Schreber 1775) desde los vehículos. A pesar de esto, no se debería dejar de lado la posibilidad de que las poblaciones de esta especie estén en declive, haciendo muy reducida la posibilidad de aparición de esta especie en las carreteras.

La información sobre la tasas de atropellos de las especies observadas en relación con las densidades de las poblaciones podría ser objeto de estudios futuros. Esto serviría para conocer de forma precisa el modo en que el impacto de las infraestructuras lineales afectan a las poblaciones locales, especialmente en aquellas especies vulnerables desde el punto de vista de la conservación, ya que aunque las tasas

de atropellos en estas especies sean menores por la baja densidad poblacional este impacto podría suponer una seria amenaza para su viabilidad (Jackson & Fahrig, 2011).

Se ha observado que las carreteras con menores tasas de atropellos son las que presentan menores densidades de tráfico y menores velocidades límite, además de calzadas más estrechas sin arcén que facilitan que los animales las atraviesen con éxito (Jones, 2000; Carr & Farhig, 2001; Gunther *et al.*, 2001; Canal *et al.*, 2018; Grilo *et al.*, 2018). El resto de carreteras presentan altas velocidades límite, altas densidades del tráfico y mayor anchura de la calzada por lo que las posibilidades de sobrevivir son menores. Por ello se puede deducir que ciertas características de estas infraestructuras lineales tienen efectos sobre el grado de impacto sobre la fauna (Jones, 2000; Carr & Farhig, 2001; Gunther *et al.*, 2001; Rico-Guzmán *et al.*, 2011; Canal *et al.*, 2018; Grilo *et al.*, 2018), por lo que sería conveniente realizar nuevos estudios que den a conocer cuáles son dichas características con el objetivo de planear la red de transportes en base ellas.

Lo estudiado en relación con los espacios protegidos de la Red Natura 2000 muestran una existencia similar de atropellos y puntos al azar fuera y dentro de las zonas designadas como espacios de la Red Natura 2000, lo que parece indicar que estos espacios no brindan la protección suficiente como para que se disminuya la densidad de atropellos en estas zonas, y que por tanto, debería plantearse un cambio de gestión con el fin de que este impacto reduzca su efecto en la mortalidad, no solo en las zonas protegidas, sino también en las zonas circunscritas. La finalidad de la Red Natura 2000 es asegurar la supervivencia de las especies a largo plazo contribuyendo a detener la pérdida de biodiversidad (Directiva 92/43/CEE), por lo que se debe estudiar detenidamente si el grado de protección ante el impacto de las infraestructuras de transporte es el adecuado para asegurar la supervivencia de las especies afectadas.

Los resultados de la comprobación de los mapas de presencia/ausencia de mamíferos reflejados en el Inventario Español de Especies Terrestres mediante la distribución de los atropellos, señalan que estos están incompletos, pues más del 50% de atropellos ocurridos han sido fuera de las cuadrículas de presencia de las especies. Esto manifiesta la necesidad de renovación de esta información y el planteamiento de nuevas metodologías para el estudio de la distribución de mamíferos, cuyos desplazamientos y áreas de campeo parecen no estar teniéndose debidamente en cuenta.

Durante la realización de este trabajo también se ha podido observar el patrón temporal de los atropellos de mamíferos, observándose en la mayor parte de las especies

un aumento en las tasas de atropellos durante los meses que coinciden con los periodos dispersivos y reproductivos, y un descenso durante el periodo de nacimiento de las crías (Blanco, 1998). En especies como el erizo se han podido distinguir rasgos fenológicos en la temporalidad de sus atropellos, cuyas tasas se disparan tras la salida de la hibernación. Esto indica la importancia de los movimientos estacionales en las tasas de atropellos a la hora de tomar medidas para corregir el efecto de las infraestructuras lineales de transporte sobre la fauna.

Finalmente los patrones espaciales que se relacionan con la mayor mortalidad de fauna en las carreteras muestran que la existencia de atropellos está relacionada con la cercanía a las masas de agua. Esto parece indicar que el desplazamiento de animales en busca de estos puntos de concentración de recursos da lugar a la necesidad de atravesar carreteras. Estos mismos resultados se obtienen del análisis realizado en el zorro, el erizo y la garduña cuyos atropellos se producen en las zonas cercanas a embalses. La información que nos proporciona el conocimiento de la importancia de este patrón contribuye a que se puedan tomar medidas en base a él, quizá, mediante la protección de masas de agua particularmente transitadas por la fauna. El estudio de los patrones espaciales de los atropellos también muestra la importancia de la cantidad de kilómetros de carretera y las características de la vía, indicándonos que el constante crecimiento de estas infraestructuras y su planeamiento tendrá repercusiones sobre la mortalidad de la vida silvestre y, consecuentemente, sobre la biodiversidad

Existen limitaciones claras en este trabajo debidas a un esfuerzo de muestreo no constante a lo largo de la línea temporal, a diferencias en el conocimiento de los distintos recolectores, a sesgos entre las zonas cercanas a los municipios de residencia de dichos recolectores y a la existencia de datos eliminados que no disponían de la información necesaria para ser integrados en la base de datos. A pesar de ello, y con las limitaciones sobre la información recolectada, este trabajo constituye una fuente de información valiosa, ya que se han podido detectar las zonas de mayor impacto para la mastofauna, que al ser categorizadas según su intensidad, proporcionan una herramienta a los gestores que les facilita establecer prioridades e incidir en aquellos puntos negros de mayor impacto para la fauna salvaje. Este estudio es una contribución para el conocimiento del impacto de las carreteras sobre la mastofauna en nuestro país, ya que no son muchos los trabajos acerca de los atropellos de mamíferos en España y especialmente en la región de Extremadura.

Se espera que este trabajo nos permita aumentar los conocimientos que tenemos sobre el impacto de las carreteras en el grupo de los mamíferos, y que de esta manera, se pueda argumentar cuales serían las medidas más apropiadas para evitar, corregir y mitigar la mortalidad producida por el impacto de estas infraestructuras sobre la fauna salvaje, pudiendo gestionar adecuadamente este conflicto socioeconómico.

## **Conclusiones**

A pesar de las limitaciones existentes en este trabajo por la falta de información y de rigurosidad en la recogida de datos, podemos sacar como conclusión las siguientes ideas:

- Ciertas características de las carreteras se relacionan con una mayor o menor tasa de atropellos.
- La presencia de espacios de la Red Natura 2000 no supone variaciones en el efecto que tienen las carreteras sobre la mortalidad de la fauna.
- La información de presencia/ausencia contenida en el Inventario Español de Especies Terrestres es insuficiente o se encuentra desactualizada.
- Los atropellos de mamíferos siguen una serie de patrones temporales relacionados con los rasgos comportamentales.
- Existen una serie de puntos negros en las carreteras extremeñas que son de gran interés para reducir las tasas de mortalidad de los mamíferos.
- La cercanía a las masas de agua y la cantidad de kilómetros de carretera son patrones importantes a tener en cuenta en relación con los atropellos de mamíferos en Extremadura.

## **Agradecimientos**

Agradezco a José I. Aguirre y a Francisco José García González la tutela en este trabajo de fin de máster. También me gustaría agradecer el trabajo voluntario del Grupo Ornitológico Cacereño sin el cual este trabajo no podría haberse llevado a cabo. Además, me gustaría agradecer a Beatriz Martínez Miranzo su constante ayuda en el ámbito académico.

## Bibliografía

Adriaensen, F., Chardon, J.P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulink, H. & Matthysen, E., 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64: 233-247.

Arroyabe, M.d.P., Gómez, C., Gutiérrez, M.E., Múnera, D.P., Zapata, P.A., Vergara, I.C., Andrade, L.M., Ramos, K.C. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA*, 45-57.

Bauni, V., Anfuso, J. & Schivo, F., 2017. Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina. *Ecosistemas*, 26 (3): 54-66.

Blanco, J.C., 1998. Mamíferos de España. I. Insectívoros, Quirópteros, Primates y Carnívoros de la Península Ibérica, Baleares y Canarias. Ed. Geoplaneta, Barcelona

Caletrio, J., Fernández, J.M., López, J., Roviralta, F., 1996. Spanish national inventory on road mortality of vertebrates. *Global Biodiversity*, 5: 15-18.

Canal, D., Camacho, C., Martín, B., de Lucas, M., Ferrer, M., 2018. Magnitude, composition and spatiotemporal patterns of vertebrate roadkill at regional scales: a study in southern Spain. *Animal Biodiversity and Conservation*, 41.2: 281–300.

Carr, L.W., & Fahrig, L., 2001. Effects of road traffic on two amphibian species of differing vagility. *Conservation Biology*, 15(4): 1071-1078.

Carvalho, F. & Mira, A., 2011. Comparing annual vertebrate road kills over two time periods, 9 years apart: a case study in Mediterranean farmland. *European Journal of Wildlife Research*, 57: 157-174.

Case, R.M, 1978. Interstate highway road-killed animals: a data source for biologists. *Wildlife Society Bulletin*, 6: 8-13.

Clevenger, A.P., Chruszcz, B., Gunson, K.E., 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109: 15-26.

- Cohn, J.P., 2008. Citizen Science: Can Volunteers Do Real Research?. *BioScience*, 58 (3) :192–197.
- Colino, V.J., 2011. Contribuciones al análisis de mortalidad de vertebrados en carreteras. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca.
- Comisión Europea, 2003. Habitat fragmentation due to transport infrastructure. The European Review. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
- Cupul, F., 2002. Víctimas de la carretera: fauna apachurrada. Gaceta Colegio Universitario de Caracas. Departamento de ciencias. Centro Universitario de la Costa. México.
- Cuyckens, G.A.E., Mochi, L.S., Vallejos, M., Perovic, P.G., Biganzoli, F., 2016. Patterns and Composition of Road-Killed Wildlife in Northwest Argentina. *Environmental management*, 58: 810-820.
- D'Amico, M., Román, J., De los Reyes, L. & Revilla, E., 2015. Vertebrate roadkill patterns in Mediterranean habitats: who, when and where. *Biological Conservation* 191: 234-242.
- De La Ossa, V.J., Galván-Guevara, S., 2015. Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo-ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombiana*, 16: 67-77.
- Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea, núm. 206, de 22 de julio de 1992, páginas 7 a 50.
- Español, I., 2007. Los valores paisajísticos de la Red Local de Carreteras. *Revista de Obras Públicas*, 3478: 31-40.
- Fahrig, L., & T. Rytwinski., 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society* 14(1): 21.
- Finquelievich, S. & Fischnaller, C., 2014. Ciencia ciudadana en la Sociedad de la Información: nuevas tendencias a nivel mundial. *Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 27 (9).

Forman, R.T.T. & Alexander, L.E., 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 207-231.

Forman, R.T.T., 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 14 (1): 31-35.

Geneletti, D., 2006. Some common shortcomings in the treatment of impacts of linear infrastructures on natural habitat. *Environmental Impact Assessment Review*, 26: 257-267.

Grilo, C., Bissonette, J.A. & Santos-reis, M., 2009. Spatial-temporal patterns in Mediterranean carnivore road casualties: Consequences for mitigation. *Biological Conservation*, 142:301-313.

Grilo, C., Molina-Vacas, G., Fernandez-Aguilar, X., Rodriguez-Ruiz, J., Ramiro, V., Porto-Peter, F., Ascensão, F., Román J. & Revilla, E., 2018. Species-specific movement traits and specialization determine the spatial responses of small mammals towards roads. *Landscape and Urban Planning*, 169: 199-207.

Grosselet, M., Villa, B. & Ruiz, G., 2009. Afectaciones a vertebrados por vehículos automotores en 1.2 km de carretera en el Istmo de Tehuantepec. *Actas del Cuarto Congreso Internacional Partners in Flight*, 227-231.

Gunther, K.A., Biel, M.J. & Robison, H.L., 2000b. Influence of vehicle speed and vegetation cover-type on road-killed wildlife in Yellowstone National Park. Pages 42–51 in T.A. Messmer and B. West, editors. *Wildlife and highways: seeking solutions to an ecological and socio-economic dilemma*. Proceedings of the 7<sup>th</sup> Annual Meeting of the Wildlife Society, Nashville, Tennessee, USA.

Jackson, N. D., Fahrig, L., 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, 144: 3143–3148.

Jones, M.E, 2000. Road upgrade, road mortality and remedial measures: impacts on a population of eastern quolls and Tasmanian devils. *Wildlife Research*, 27: 289- 296.

Ley 25/1988, de Carreteras. Publicado en el Boletín Oficial del Estado, num. 182, de 30 de Julio de 1988, pp. 23514 a 23524.

Ley 7/1995, de 27 de abril, de Carreteras de Extremadura. Publicado en el Diario Oficial Extremadura, núm. 57, de 16 de Mayo de 1995 y Boletín Oficial del Estado, núm. 152, de 27 de Junio de 1995, pp. 19256 a 19265.

Madsen, A., Strandgaard, H., Prang, A., 2002. Factors causing traffic killings of roe deer *Capreolus capreolus* in Denmark. *Wildlife Biology*, 8: 55–61

Martín, B., Ortega, E., Mancebo, S. & Otero, I., 2008. Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte). *GeoFocus*, 8: 44-60.

Mumme, R. L., Schoech, S. J., Woolfenden, G. E., Fitzpatrick, J. W., 2000. Life and death in the fast lane: Demographic consequences of road mortality in the Florida Scrub-Jay. *Conservation Biology*, 14: 501–512.

Proyecto provisional de seguimiento de la mortalidad de vertebrados en carreteras (PMVC). 2003. Mortalidad de vertebrados en carreteras. Documento técnico de conservación nº 4. Sociedad para la Conservación de los Vertebrados (SCV). Madrid. 350 páginas.

QGIS Development Team, 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

Rico-Guzmán, E., J.L., Terrones, B., & Bonet, A., 2011. Impacto del tráfico rodado en el P. N. del Carrascal de la Font Roja. ¿Cómo influyen las características de la carretera en los atropellos de vertebrados? *Galemys*, 23: 113-123.

Rosell C., Álvarez G., Cahill C., Campeny C., Rodríguez A. & Séiler A., 2002. COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 317.

Sáenz de Santa María, A. & Tellería, J.L., 2015. Wildlife-vehicle collisions in Spain. *European Journal of Wildlife Research*, 61: 399-406.

Santos, T. & Tellería, J., 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15(2):3-12.

Teixeira F.Z., Coelho, I.P., Esperandio, I.B, Oliveira, N.R, Peter, F.P., Dornelles, S.S, Delazeri, N.R, Tavares, M., Martins, M.B. & Kindel, A., 2013b. Are road-kill hotspots coincident among different vertebrate groups?. *Oecologia Australis*, 17(1): 36-47.

Teixeira, F.Z., Coelho, A.V.P., Esperandio, I.B., Kindel, A., 2013a. Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*1, 57: 317-323.