

Atropellos de anfibios y reptiles en las carreteras españolas: primeros resultados del Proyecto SAFE

Carlos Caballero-Díaz^{1,2,*}, Carlos Rodríguez³, Manuel Oñorbe⁴, Francisco J. García⁵, Sara Cabezas-Díaz⁶, Carlos López², Enrique Ayllón² & Marcello D'Amico³

¹ Departamento de Biología. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid. España. C.e.: carlos.caballero@uam.es

² Asociación Herpetológica Española (AHE). Apdo. Correos 191. 28911 Leganés. Madrid. España.

³ Departamento de Biología de la Conservación y Cambio Global. Estación Biológica de Doñana (CSIC). 41092 Sevilla. España.

⁴ Subdirección General de Biodiversidad Terrestre y Marina. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Plaza San Juan de la Cruz, 10. 28071 Madrid. España.

⁵ Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamíferos (SECEM). Apdo. Correos 15020. 41015 Sevilla. España.

⁶ Unidad de Espacios y Especies. Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife). Cl. Melquiades Biencinto, 34. 28053 Madrid. España.

Fecha de aceptación: 13 de mayo de 2023.

Key words: amphibians, citizen participation, habitat loss and fragmentation, reptiles, roadkills, spain.

La pérdida y fragmentación de hábitats debida al aumento de infraestructuras son dos de los factores de declive más importantes para la biodiversidad, ocasionados como consecuencia de una creciente antropización en todo el planeta (Laurance *et al.*, 2014; Ibsch *et al.*, 2016). El impacto de las infraestructuras en las poblaciones de flora y fauna se traduce en la pérdida de conectividad, interrupción del flujo genético y extinciones locales, lo que provoca enormes daños para los distintos taxones en sus distribuciones a nivel global (Ceia-Hasse *et al.*, 2018).

Entre las barreras antrópicas que ocasionan aislamiento y extinción de poblaciones están las carreteras, que son infraestructuras lineales donde se registran elevadas mortalidades no naturales para la fauna (Grilo *et al.*, 2020). Algunos animales están especialmente amenazados por las carreteras, como es el caso de los anfibios y reptiles (Andrews *et al.*, 2008; Beebe, 2013). Estos dos grupos se encuentran en estado de conservación desfavorable debido también a otros factores de amenaza como el cambio climático, la contaminación, la introducción de especies exóticas invasoras y la expansión de enfermedades infecciosas (Gibbons *et al.*, 2000; Beebe & Griffiths, 2005; Kilpatrick *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2013). La herpetofauna

comprende especies muy beneficiosas para los ecosistemas (Whiles *et al.*, 2013; de Miranda, 2017), por lo que conocer sus causas de declive es prioritario para poder reducir el impacto que éstas les generan.

Los anfibios y reptiles son muy susceptibles de ser atropellados debido a que, por diferentes razones, pasan bastante tiempo en la calzada (Jacobson *et al.*, 2016). La mayoría de las especies son lentas en sus desplazamientos (como muchos anfibios y tortugas), otras se ven atraídas por el calor del asfalto (especialmente saurios y ofidios) y, en general, muchas permanecen inmóviles en la calzada como estrategia anti-depredadora frente a los vehículos (como los anfibios, las tortugas y algunos ofidios; Andrews *et al.*, 2015; Jacobson *et al.*, 2016). Adicionalmente, es importante destacar que la herpetofauna, que abarca animales de pequeño tamaño, a menudo experimenta atropellos inadvertidos por parte de los conductores, quienes pueden no percatarse de su presencia y, por ende, resulta difícil evitar el arrollamiento (Teixeira *et al.*, 2013; Beckamn & Shine, 2015). Esto es aún más patente para los anfibios, cuyos mayores desplazamientos se dan en noches lluviosas, cerradas y con escasa visibilidad (Zhang *et al.*, 2018; Mestre *et al.*, 2019).

Ante los cambios constantes en el paisaje provocados por la construcción de diversas vías de comunicación en las últimas décadas, es crucial llevar a cabo evaluaciones periódicas para cuantificar los impactos de estas infraestructuras sobre la biodiversidad y tomar medidas para mitigarlos (Barrientos *et al.*, 2021). En España, el último estudio de vertebrados atropellados a nivel nacional se llevó a cabo a principios de la década de los años 90 (PMVC, 2003), acometido inicialmente por la Coordinadora de Organizaciones de Defensa Ambiental (CODA) y finalizado por la Sociedad para la Conservación de Vertebrados (SCV) (López, 2021). En este trabajo los anfibios y los reptiles representaron el 22,9% y el 6,2%, respectivamente, de los cadáveres de vertebrados, de los cuales el sapo común ibérico (*Bufo spinosus*) y la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*) encabezaron con diferencia el número de registros para cada grupo. Desde entonces, se han implementado diversas medidas de conservación (como la construcción de pasos de fauna, la adecuación de drenajes transversales o la instalación de señales de tráfico de advertencia de peligro de atropello), mayoritariamente enfocadas a especies distintas a las que comprenden los grupos de los anfibios y reptiles. Estas actuaciones no han resultado completamente eficaces en tanto que muchas especies continúan enfrentando amenazas significativas e incluso extinciones locales (Santos *et al.*, 2007; Sillero, 2008; D'Amico *et al.*, 2015; Canal *et al.*, 2018).

Por todo ello, en el año 2021 empezó el Proyecto SAFE (Stop Atropellos de la Fauna en España), con el objetivo de estimar el número de vertebrados terrestres atropellados en España anualmente. El proyecto fue impulsado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico junto a tres de las principales sociedades científicas de vertebrados terrestres españolas (SECEM, SEO/

Birdlife y AHE), encargadas de la coordinación de voluntarios, así como de la Estación Biológica de Doñana (CSIC) como centro de investigación a cargo del diseño del protocolo y análisis de la información. El estudio se ha basado en la participación ciudadana y ha recogido información de atropellos a lo largo de toda la geografía española a través de varios centenares de transectos, repetidos en el tiempo y con esfuerzo controlado. En este manuscrito se presentan y discuten los principales resultados, de carácter descriptivo, sobre los cadáveres de anfibios y reptiles registrados en las carreteras españolas durante los tres años del Proyecto SAFE (2021-2024).

El Proyecto SAFE ha representado la primera experiencia de ciencia ciudadana sobre atropellos de fauna llevada a cabo a nivel nacional con esfuerzo controlado. A lo largo del proyecto han colaborado voluntariamente muchas personas que han realizado transectos repetidos a pie, en bicicleta o en coche, con distancias mínimas de 3, 10 y 15 km respectivamente. Los tramos han sido escogidos por las personas según sus preferencias y posteriormente validados por las sociedades científicas para evitar repeticiones en las asignaciones de tramos. Cabe destacar que se ha mostrado especial énfasis en cubrir el territorio español de manera homogénea, aunque han existido algunas regiones sin transectos donde habitan especies que no se encuentran en otros lugares (mayoritariamente endemismos con áreas de distribución restringida); por tanto, para estas especies no se han registrado cadáveres. Cada voluntario ha anotado los atropellos en cada transecto (al menos la especie y las coordenadas) en las aplicaciones móviles "Obsmapp" (Observation.org) y "Mortalidad en Infraestructuras" (SEO/BirdLife), teniendo en cuenta los cadáveres registrados en recorridos pre-

vios para evitar replicaciones en el caso de que estos permanecieran aún en la calzada. La metodología de registro de cadáveres ha variado en función del medio de transporte utilizado: en los transectos a pie, se han registrado los

atropellos desde el arcén; en los recorridos en bicicleta, cuando se encontraba un animal se detenía el vehículo para registrar la información; en los recorridos en coche se requería de un copiloto que fuera incluyendo los datos en



Figura 1: a) Sapo común ibérico en la carretera (Arrigorriaga, País Vasco). b) Culebra de escalera atropellada en la M-204 (Tielmes, Comunidad de Madrid). c) Mapa de España (verde) que muestra los 298 transectos (círculos representando el punto medio) llevados a cabo entre 2021 y 2023. Amarillo y morado: transectos con registros de cadáveres de anfibios y reptiles, respectivamente. Rojo: transectos con registros de cadáveres de anfibios y reptiles. Blanco: transectos sin registros de cadáveres de anfibios y reptiles.

alguna de las aplicaciones móviles sin detener el vehículo (para más información, vease Caballero-Díaz *et al.*, 2021). También se han contabilizado los recorridos sin atropellos registrados para controlar el esfuerzo de muestreo. Ante posibles dudas en las identificaciones, las aplicaciones han permitido tomar fotografías de los cadáveres para posteriormente ser validadas por expertos de las sociedades científicas.

En total, se han llevado a cabo 298 recorridos registrados entre las dos aplicaciones móviles hasta la fecha (Figura 1), que cubren 7097 km de las carreteras españolas. El transporte utilizado ha sido muy variable, e incluye 75 recorridos a pie (23,4% del total), 64 recorridos en bicicleta (20%), 178 recorridos en coche (55,6%) y tres recorridos en moto (1%). Se han realizado un total de 1946 visitas. El número de visitas por recorrido ha variado de 1 a 126 veces (8,9 visitas medias por recorrido andando, 5,5 en bici y 4,8 en coche). La frecuencia de muestreos ha sido relativamente homogénea a lo largo del año, siendo julio y febrero los meses con mayor y menor actividad de muestreos respectivamente (9,72% y 6,12% con respecto al total del año). Todas las provincias españolas han estado representadas por, al menos, un recorrido a excepción de Almería, Gerona, Guipúzcoa, Orense y Santa Cruz de Tenerife (Figura 1).

Los datos obtenidos en el Proyecto SAFE suponen la mayor contribución al conocimiento de los atropellos de fauna silvestre para la geografía española desde que en 2003 se publicaron los resultados del “Proyecto Provisional de Seguimiento de la Mortalidad de Vertebrados en Carreteras” (PMVC, 2003). Si bien algunas zonas han sido menos prospectadas, en general todo el territorio español ha quedado representado gracias a los casi 300 transectos muestreados. Es por ello

que los resultados obtenidos en el Proyecto SAFE y aquí mostrados pueden dar una idea del impacto que tienen las carreteras para las distintas especies de vertebrados a nivel nacional. Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal del Proyecto SAFE es determinar el número anual de vertebrados terrestres atropellados en España basado en un protocolo de muestreo eficiente. Esta estimación debe basarse en el análisis de los sesgos comúnmente asociados a los muestreos de atropello (Barrientos *et al.*, 2018). Por ejemplo, la mayoría de transectos han sido realizados en coche, lo que conduce a una subestima de los atropellos de grupos animales de menor tamaño – como los anfibios y reptiles – ya que los cadáveres no son detectados fácilmente por los conductores (Collinson *et al.*, 2014). A pesar de ello, la herpetofauna ha representado una parte importante de atropellos sobre el total de vertebrados terrestres registrados.

Los anfibios han representado el 17% de los atropellos totales identificados de vertebrados terrestres, que se corresponden con un total de 845 cadáveres (Tabla 1). Alrededor del 42% de los atropellos anuales registrados de anfibios se concentran entre los meses de marzo y abril, seguido del mes de octubre (13% de atropellos totales). En los periodos mayo–septiembre y enero–febrero se han detectado muy pocos atropellos de anfibios. Los atropellos identificados corresponden a 19 especies, que incluyen seis urodelos (199 cadáveres, 23,6%) y 13 anuros (646 cadáveres, 76,4%), aunque el 83% de los cadáveres totales identificados se corresponden sólo a tres especies: el sapo común ibérico, el sapo corredor (*Epidalea calamita*) y la salamandra común (*Salamandra salamandra*). El anfibio más registrado ha sido el sapo común ibérico, con un total de 342 cadáveres detectados (40,6% del total de anfibios),

lo que le convierte también en el segundo vertebrado más registrado en el Proyecto SAFE, después del conejo común (*Oryctolagus cuniculus*, Rodríguez *et al.*, 2024). El segundo anfibio más detectado ha sido el sapo corredor (234 cadáveres, 27,7% del total de anfibios), que además ha sido el tercer vertebrado silvestre más atropellado en las carreteras españolas. En tercer lugar, destacan los atropellos de la salamandra común, el urodelo con más cadáveres detectados en las carreteras españolas (124 cadáveres, 14,7% del total de anfibios, Tabla 1). Cabe destacar que se han registrado 426 anfibios atropellados para los que no se ha podido identificar la especie debido a su estado de degradación.

El sapo común ibérico ha vuelto a ser el anfibio más detectado en las carreteras españolas, tal y como mencionaba el “Proyecto Provisional de Seguimiento de la Mortalidad de Vertebrados en Carreteras” (PMVC, 2003). Sin

embargo, los porcentajes con respecto al total de anfibios y al total de vertebrados terrestres son mucho más bajos que entonces, lo que podría deberse a que muchos de los recorridos se han realizado en el centro y sur peninsular, donde la especie cada vez es más escasa (Lizana, 2002), pero también a las diferencias metodológicas entre proyectos. La problemática de los atropellos para la especie se explica por las grandes distancias que recorren los individuos hasta llegar a los puntos de reproducción, para lo que tienen que atravesar numerosas carreteras que suponen barreras antrópicas frente a la dispersión (Ortiz-Santaliestra, 2014). Esto, unido a la degradación y desaparición de los puntos de reproducción, hacen que la especie esté en declive en muchas regiones españolas (Egea-Serrano *et al.*, 2007; Caballero-Díaz *et al.*, datos no publicados). El sapo corredor ha sido también muy registrado durante el Proyecto SAFE, con una tasa considerablemente ma-

Tabla 1: Ranking de los anfibios más atropellados en las carreteras en los recorridos del proyecto SAFE. Los valores de la tabla se corresponden con conteos directos y no con estimas.

Nombre común	Nombre científico	Nº de cadáveres	% frente al total de anfibios
Sapo común ibérico	<i>Bufo spinosus</i>	342	40.5%
Sapo corredor	<i>Epidalea calamita</i>	234	27.7%
Salamandra común	<i>Salamandra salamandra</i>	124	14.7%
Gallipato	<i>Pleurodeles waltl</i>	34	4.0%
Rana verde común	<i>Pelophylax perezi</i>	22	2.6%
Tritón ibérico	<i>Lissotriton boscai</i>	16	1.9%
Sapo de espuelas	<i>Pelobates cultripes</i>	15	1.8%
Sapillo pintojo ibérico	<i>Discoglossus galganoi</i>	12	1.4%
Tritón jaspeado	<i>Triturus marmoratus</i>	12	1.4%
Tritón pigmeo	<i>Triturus pygmaeus</i>	11	1.3%
Sapo moruno	<i>Sclerophrys mauritanica</i>	6	0.7%
Sapo partero ibérico	<i>Alytes cisternasii</i>	4	0.5%
Ranita meridional	<i>Hyla meridionalis</i>	3	0.4%
Sapo partero común	<i>Alytes obstetricans</i>	2	0.2%
Sapillo pintojo marroquí	<i>Discoglossus scovazzi</i>	2	0.2%
Tritón palmeado	<i>Lissotriton helveticus</i>	2	0.2%
Rana patilarga	<i>Rana iberica</i>	2	0.2%
Sapillo moteado ibérico	<i>Pelodytes ibericus</i>	1	0.1%
Rana bermeja	<i>Rana temporaria</i>	1	0.1%

yor que hace décadas (PMVC, 2003). De hecho, varios estudios en los últimos años han detectado mortandades muy elevadas para la especie (D'Amico *et al.*, 2015; Pinto *et al.*, 2023; Iglesias-Donoso *et al.*, en revisión) que, en general, es abundante en la península ibérica excepto en el norte (Gomez-Mestre, 2014). El sapo corredor frecuenta zonas antrópicas (como extensiones de cultivo), muchas veces atravesadas por carreteras secundarias, donde se reproduce de forma explosiva y esto puede conducir a elevadas mortalidades (Gomez-Mestre, 2014; Caballero-Díaz *et al.*, datos no publicados). En cuanto a la salamandra común, a pesar de que en muchas regiones su hábitat preferente suele estar alejado de zonas antrópicas, los itinerarios del SAFE han registrado un gran número de atropellos. La elevada mortalidad en las carreteras para la especie ha sido previamente alertada a través de numerosos estudios, que también han sugerido medidas urgentes en los tramos donde se concentran los cadáveres (Montori *et al.*, 2007; Garriga *et al.*, 2012; Mestre *et al.*, 2019; Piñeiro *et al.*, 2020). El resto de las especies de anfibios han sido registradas en abundancias bajas en las carreteras, lo que podría deberse a una infraestimación que es bastante común para anuros y urodolos (Gunson *et al.*, 2011; Fahrig & Rytwinski, 2009). Entre las razones se encuentran el poco tiempo que los cadáveres persisten en las carreteras (PMVC, 2003; Santos *et al.*, 2011) y la dificultad de detectar las carcasas en el asfalto (Barrientos *et al.*, 2018). Esto último, por ejemplo, es muy patente en especies como el sapo de espuelas (*Pelobates cultripēs*) o el gallipato (*Pleurodeles waltl*), cuyas coloraciones se confunden con el sustrato de la pavimentación de carretera, pero también en especies de tamaño pequeño que suelen pasar inadvertidas como son algunos tritones, los sapillos moteados y los sapos

parteros. Dada la dificultad de identificar algunas de estas especies en la calzada y lo fácil que se degradan los cadáveres en las carreteras, se prevé que una importante fracción de los anuros no identificados se correspondan con especies distintas al sapo común ibérico o al sapo corredor. Las carcasas de estas dos especies (sobre todo del sapo común ibérico) tienen una perdurabilidad mayor en la calzada, lo que podría influir en un mayor conteo de atropellos; sin embargo, ambas especies tienen tasas de dispersión muy elevadas (Kovar *et al.*, 2009; Miaud *et al.*, 2000; Sánchez-Montes & Martínez-Solano, 2023), por lo que son más susceptibles a ser arrolladas que otras con áreas de campeo pequeñas, como los sapos parteros comunes (Caballero-Díaz *et al.*, 2022) o los tritones ibéricos (Reyes-Moya *et al.*, 2023). Futuros estudios de carreteras enfocados a las especies que pasan más desapercibidas serán necesarios para conocer adecuadamente el impacto que originan los atropellos en sus dinámicas poblacionales.

Los reptiles han representado el 14% de los atropellos totales identificados de vertebrados, que se corresponden con un total de 818 cadáveres (Tabla 2). Los registros de atropello se concentran entre los meses de marzo a octubre, con un pico de detección situado en los meses de mayo y junio (44% de los atropellos anuales de reptiles). Entre los meses de noviembre y febrero, el número de cadáveres detectados no supera el 8%. Se han registrado un total de 36 especies de reptiles con al menos un atropello. La especie más detectada por mortalidad en las carreteras ha sido la lagartija colilarga (*Psammotromus algirus*) con 182 cadáveres (22,2% del total de reptiles), que además es el sexto vertebrado autóctono más detectado por mortalidad. Las siguientes especies más registradas son la culebra bastarda (138 cadáveres, 16,9% del total de repti-

les), la culebra de escalera (*Zamenis scalaris*) (110 cadáveres, 13,4%), la salamancha común (*Tarentola mauritanica*) (85 cadáveres, 10,4%), la culebra de herradura (*Hemorrhois hippocrepis*) (52 cadáveres, 6,4% del total de reptiles), la culebra viperina (*Natrix maura*) (48 cadáveres, 5,9%) y el lagarto ocelado (*Timon lepidus*) (45 cadáveres, 5,5%, Tabla 2).

Cabe destacar que se han registrado 149 reptiles atropellados para los que no se ha podido identificar la especie debido a su estado de degradación.

Han sido numerosas las especies de reptiles para las que se ha detectado al menos un atropello. Destaca en primer lugar la lagartija colilarga, una especie muy común para la

Tabla 2: Ranking de los reptiles más atropellados en las carreteras en los recorridos del proyecto SAFE. Los valores de la tabla se corresponden con conteos directos y no con estimas.

Nombre común	Nombre científico	Nº de cadáveres	% frente al total de reptiles
Lagartija colilarga	<i>Psammodromus algirus</i>	182	22.2%
Culebra bastarda	<i>Malpolon monspessulanus</i>	138	16.9%
Culebra de escalera	<i>Zamenis scalaris</i>	110	13.4%
Salamancha común	<i>Tarentola mauritanica</i>	85	10.4%
Culebra de herradura	<i>Hemorrhois hippocrepis</i>	52	6.4%
Culebra viperina	<i>Natrix maura</i>	48	5.9%
Lagarto ocelado	<i>Timon lepidus</i>	45	5.5%
Culebra lisa meridional	<i>Coronella girondica</i>	22	2.7%
Lagarto atlántico	<i>Gallotia atlantica</i>	18	2.2%
Camaleón común	<i>Chamaeleo chamaeleon</i>	13	1.6%
Culebra de cogulla occidental	<i>Macroprotodon brevis</i>	13	1.6%
Lución	<i>Anguis fragilis</i>	10	1.2%
Culebrilla ciega	<i>Blanus vandellii</i>	10	1.2%
Culebra de collar mediterránea	<i>Natrix astreptophora</i>	9	1.1%
Lagartija colirroja	<i>Acanthodactylus erythrurus</i>	7	0.9%
Víbora hocicuda	<i>Vipera latastei</i>	7	0.9%
Perenquén mayorero	<i>Tarentola angustimentalis</i>	6	0.7%
Culebrilla de María	<i>Blanus cinereus</i>	5	0.6%
Lagartija roquera	<i>Podarcis muralis</i>	5	0.6%
Eslizón tridáctilo	<i>Chalcides striatus</i>	4	0.5%
Lagarto verdinegro	<i>Lacerta schreiberi</i>	4	0.5%
Lagartija de Bocage	<i>Podarcis bocagei</i>	4	0.5%
Víbora de Seoane	<i>Vipera seoanei</i>	4	0.5%
Eslizón ibérico	<i>Chalcides bedriagai</i>	2	0.2%
Culebra lisa europea	<i>Coronella austriaca</i>	2	0.2%
Lagarto bético	<i>Timon nevadensis</i>	2	0.2%
Culebra de Esculapio	<i>Zamenis longissimus</i>	2	0.2%
Culebrilla ciega de Tánger	<i>Blanus tingitanus</i>	1	0.1%
Salamancha rosada	<i>Hemidactylus turcicus</i>	1	0.1%
Lagarto verde occidental	<i>Lacerta bilineata</i>	1	0.1%
Culebra de cogulla tunecina	<i>Macroprotodon cucullatus</i>	1	0.1%
Lagartija andaluza	<i>Podarcis vaucheri</i>	1	0.1%
Lagartija de Edwards	<i>Psammodromus edwardsianus</i>	1	0.1%
Lagartija cenicienta occidental	<i>Psammodromus occidentalis</i>	1	0.1%
Lagartija carpetana	<i>Iberolacerta cyreni</i>	1	0.1%
Tortuga mora	<i>Testudo graeca</i>	1	0.1%

cual se habían citado mortandades bajas en carreteras hasta la fecha (Salvador, 2015). Este lacértido, aparentemente difícil de localizar en estudios de atropellos, abunda en zonas de matorral de las cunetas de las carreteras (PMVC, 2003). Por otra parte, los ofidios representan alrededor de la mitad de los atropellos registrados para los escamosos en el Proyecto SAFE. Entre ellos sobresalen la culebra bastarda y la culebra de escalera, dos de los ofidios más grandes de la península ibérica y que suelen encabezar la lista de reptiles atropellados en estudios de carreteras (PMVC, 2003; Garriga *et al.*, 2012; D'Amico *et al.*, 2015; Delgado *et al.*, 2019). Este factor de amenaza ha sido citado como uno de los principales para ambas especies, explicado por el calor que acumula el asfalto con el que los ofidios se activan, y porque las mayores concentraciones de sus presas habituales ocurren en las inmediaciones de las vías (Pleguezuelos *et al.*, 1998; PMVC, 2003; Loureiro *et al.*, 2014). También se han registrado altas mortalidades para otros ofidios, como son la culebra de herradura, muy habitual en carreteras de paisajes antrópicos (Feriche, 2017), y la culebra viperina, que suele aparecer atropellada en zonas húmedas o en vías paralelas a cursos fluviales (Santos, 2015). Otras especies de reptiles también han sido habituales en las carreteras, como es la salamanguera común. La mortalidad registrada para el gecónido, de pequeño tamaño y difícil detección, ha sido mucho mayor que en estudios previos (PMVC, 2003). Por su parte, el lagarto ocelado ha tenido un porcentaje de mortalidad con respecto al resto de reptiles similar al previamente reportado (PMVC, 2003), para el que también se ha sugerido que cada vez podría ser más escaso en muchas zonas de España (Mateo, 2017). También hay que remarcar numerosos atropellos para algunas especies muy amenazadas, como

el lagarto atlántico (*Gallotia atlantica*) en un solo transecto en la isla de Lanzarote, o la víbora hocicuda (*Vipera latastei*), muy escasa y difícil de localizar en estudios demográficos. Otras especies en mejor estado de conservación han sido bastante citadas, aunque tienen distribuciones reducidas, como son el lución (*Anguis fragilis*) o el camaleón (*Chamaeleo chamaeleon*). Es importante tener en cuenta que muchas de las especies no detectadas se corresponden con endemismos (o en su defecto, especies que en España tienen una distribución pequeña, pero en otros países colindantes siguen apareciendo) cuyas áreas de distribución no han sido atravesadas por ningún transecto. Este es el caso de numerosos reptiles canarios (especies de los géneros *Gallotia*, *Chalcides* y *Tarentola*, excepto el lagarto atlántico y el perenquén mayorero, *Tarentola angustimentalis*, para las que sí se han registrado atropellos, ver Tabla 2), baleares (la lagartija de las Pitiusas, *Podarcis pityusensis*, y la lagartija balear, *Podarcis lilfordi*) e ibéricos, como la culebra de collar helvética (*Natrix helvetica*), la lagartija de Valverde (*Algyroides marchi*), el lagarto ágil (*Lacerta agilis*) y varias especies del género *Iberolacerta*, como la lagartija pallaresa (*Iberolacerta aurelioi*), la lagartija aranesa (*Iberolacerta aranica*), la lagartija pirenaica (*Iberolacerta bonnali*), la lagartija leonesa (*Iberolacerta galani*) y la lagartija batueca (*Iberolacerta martinezricai*). En concreto, se cree que algunas podrían estar muy afectadas, como ocurre con la lagartija batueca, que está catalogada como en Peligro Crítico de Extinción por la UICN y además está listada como amenazada por carreteras (Pérez-Mellado *et al.*, 2009). En estos casos y dada la vulnerabilidad y situación de amenaza de dichas especies, transectos concisos y con esfuerzo controlado en sus áreas de distribu-

ción natural son necesarios para cuantificar las mortalidades en carreteras. Finalmente, cabe destacar que no se han detectado Especies Exóticas Invasoras de anfibios y reptiles, a pesar de que algunas especies son muy abundantes en algunas zonas de España (por ejemplo el galápagos de florida, *Trachemys scripta*). Lo mismo ocurre con especies de la familia Colubridae en Ibiza, Formentera e Islas Canarias (en Gran Canaria, con la culebra real californiana, *Lampropeltis californiae*), donde son muy abundantes y están listadas como Especies Exóticas Invasoras (RD 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras). Sin embargo, en estos lugares, no se han llevado a cabo transectos, por lo que se desconoce el impacto que pueden estar teniendo las carreteras en sus poblaciones.

Los resultados preliminares del Proyecto SAFE aquí plasmados sugieren que son numerosas las especies de herpetofauna afectadas por las carreteras en España, algunas de ellas en declive y que requieren actuaciones dirigidas a su conservación. Sin embargo, son necesarios futuros estudios que permitan estimar otros aspectos como el número de atropellos totales para cada especie, la ubicación, factores desencadenantes y variabilidad temporal de los tramos de concentración de mortalidad, los hábitats o paisajes para finalmente detectar los factores y lugares donde las especies están más afectadas. Con todo ello se podrá estimar el impacto poblacional que ocasionan los atropellos en los anfibios y reptiles españoles (D'Amico *et al.*, 2015; Dean *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, datos no publicados). Esto permitirá, por un lado, detectar las zonas concretas donde plantear medidas de conservación que minimicen el impacto de las carreteras (Beebe *et al.*, 2013; Garriga *et al.*, 2017) y, por otro lado, se

podrán invertir esfuerzos adicionales en zonas o en especies para las que no existan datos, normalmente amenazadas, teniendo en cuenta sus aspectos fenológicos para evitar subestimas. Finalmente, es importante destacar la importancia de la participación ciudadana para la obtención de datos de atropello de los vertebrados terrestres (PMVC, 2003; Heigl & Zaller, 2014; Périquet *et al.*, 2018; Caballero-Díaz *et al.*, 2021; Cabezas-Díaz *et al.*, 2023). Acometer transectos por toda la geografía española, de manera periódica y rigurosa, sólo es posible con la colaboración voluntaria. El Proyecto SAFE y todas las personas participantes han mostrado, por tanto, ser un punto de partida esencial para avanzar en el conocimiento del impacto que ocasionan los atropellos en las poblaciones de animales silvestres, y para posteriormente llevar a cabo medidas de conservación precisas.

AGRADECIMIENTOS: El Proyecto SAFE ha sido financiado por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Durante este proyecto, MD ha disfrutado de un contrato Juan de la Cierva Incorporación (IJC2019-039662-I) concedido por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Los autores de este trabajo y la Junta Directiva de la AHE quieren agradecer a todos los voluntarios del Proyecto SAFE, y especialmente los vinculados a la AHE: D. Ábalo, G. Alarcos, J. Álvarez, J. Arca, M. Asensi, C. Ayres, L. Berzas, S. Blázquez, D. Candel, A. Camps, N. Carballo, A. Cerezo, J. Corredor, A. Cordero, D. Cuevas, A. de Carlos, E. Delicado, H. Erich, P. Escribano, M. Estrada, D. Fernández, D. Fernández, V. Flores, A. Gálvez, F. Giménez, A. González, L. González, E. Guerrero, P. Gutiérrez, L.C. Herrero, C. Hernando, J.M. Jiménez, D. Juárez, H. Lapeña, J. López, L. López, J.J. Lorden, M. Lozano, A. Martín, L. Martín, G. Martínez, J. Martel, C. Mediavilla, E. Murciano, O. Murillo, C. Núñez, A. Pantoja, P. Paños, L. Pedrajas, A. Pérez, L. Pérez, N. Pérez, N. Quílez, A. Rabanal, V. Rodríguez, V. Román, M.A. Romeo, A. Ruiz, M. Sandeogracias, C. Sanz, A. Urkiola.

REFERENCIAS

- Andrews, K.M., Gibbons, J.W., Jochimsen, D.M. & Mitchell, J. 2008. Ecological effects of roads on amphibians and reptiles: a literature review. *Herpetological Conservation*, 3: 121–143.
- Andrews, K.M., Langen, T.A. & Struijk, R. 2015. *Reptiles: overlooked but often at risk from roads. Handbook road ecology*. 1st edition. West Sussex: Wiley.
- Barrientos, R., Martins, R.C., Ascensão, F., D'Amico, M., Moreira, F. & Borda-de-Água, L. 2018. A review of searcher efficiency and carcass persistence in infrastructure-driven mortality assessment studies. *Biological conservation*, 222: 146–153.
- Barrientos, R., Ascensão, F., D'Amico, M., Grilo, C. & Pereira, H.M. 2021. The lost road: Do transportation networks imperil wildlife population persistence?. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(4): 411–416.
- Beckmann, C. & Shine, R. 2015. Do the numbers and locations of road-killed anuran carcasses accurately reflect impacts of vehicular traffic?. *The Journal of Wildlife Management*, 79(1): 92–101.
- Beebee, T.J. 2013. Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conservation Biology*, 27(4): 657–668.
- Beebee, T.J. & Griffiths, R.A. 2005. The amphibian decline crisis: a watershed for conservation biology?. *Biological conservation*, 125(3): 271–285.
- Caballero-Díaz, C., Ayllón, E. & López, C. 2021. ¿Podemos conocer el impacto que tienen las carreteras en los anfibios y reptiles españoles? Comienza el proyecto SAFE para buscar respuestas y soluciones a los atropellos de herpetofauna. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, 32(2): 175–179.
- Caballero-Díaz, C., Sánchez-Montes, G., Gómez, I., Díaz-Zúñiga, A. & Martínez-Solano, Í. 2022. Artificial water bodies as amphibian breeding sites: the case of the common midwife toad (*Alytes obstetricans*) in central Spain. *Amphibia-Reptilia*, 43(4): 395–406.
- Cabezas-Díaz, S., Hernández-Hernández, J. & Virgós, E. 2023. Road kill patterns of birds in Spain: Modelling from citizen science data. *Transportation Research part D: Transport and Environment* (in press).
- 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.
- Ceia-Hasse, A., Navarro, L.M., Borda-de-Água, L. & Pereira, H.M. 2018. Population persistence in landscapes fragmented by roads: Disentangling isolation, mortality, and the effect of dispersal. *Ecological modelling*, 375: 45–53.
- Collinson, W.J., Parker, D.M., Bernard, R.T., Reilly, B.K. & Davies-Mostert, H.T. 2014. Wildlife road traffic accidents: a standardized protocol for counting flattened fauna. *Ecology and evolution*, 4(15): 3060–3071.
- D'Amico, M., Román, J., De los Reyes, L. & Revilla, E. 2015. Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: who, when and where. *Biological Conservation*, 191: 234–242.
- de Miranda, E.B. 2017. The plight of reptiles as ecological actors in the tropics. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5: 309533.
- Dean, W.R.J., Seymour, C.L., Joseph, G.S. & Foord, S.H. 2019. A review of the impacts of roads on wildlife in semi-arid regions. *Diversity*, 11(5): 81.
- Delgado, J.D., Humia, J.D., Pereiras, A.R., Rosal, A., del Valle Palenzuela, M., Morelli, F., et al. 2019. The spatial distribution of animal casualties within a road corridor: Implications for roadkill monitoring in the southern Iberian rangelands. *Transportation research part D: transport and environment*, 67: 119–130.
- Egea-Serrano, A., Oliva-Paterna, F.J. & Torralva, M. 2007. Aplicación de los criterios UICN a la batracofauna de la Región de Murcia (S.E. Península Ibérica). *Munibe*, 25: 50–57.
- Fahrig, L. & Rytwinski, T. 2009. Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society*, 14(1): 21.
- Feriche, M. 2017. Culebra de herradura – *Hemorrhis hippocrepis*. In: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Sanz, J.J., Martínez-Freiria, F. (eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>.
- 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. *Biodiversity and Conservation*, 21: 2761–2774.
- Garriga, N., Franch, M., Santos, X., Montori, A. & Llorente, G.A. 2017. Seasonal variation in vertebrate traffic casualties and its implications for mitigation measures. *Landscape and Urban Planning*, 157: 36–44.
- Gibbons, J.W., Scott, D.E., Ryan, T.J., Buhlmann, K.A., Tuberville, T.D., Metts, B.S., et al. 2000. The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians: Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change. *BioScience*, 50(8): 653–666.
- Gomez-Mestre, I. 2014. Sapo corredor - *Epidalea calamita*. In: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Martínez-Solano, I. (eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>.
- Grilo, C., Koroleva, E., Andrášik, R., Bíl, M. & González-Suárez, M. 2020. Roadkill risk and population vulnerability in European birds and mammals. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(6): 323–328.
- Gunson, K.E., Mountrakis, G. & Quackenbush, L.J. 2011. Spatial wildlife-vehicle collision models: a review of current work and its application to transportation mitigation projects. *Journal of Environmental Management*, 92: 1074–1082.
- Heigl, F. & Zaller, J.G. 2014. Using a citizen science approach in higher education: a case study reporting roadkills in Austria. *Human Computation*, 1(2): 163–173.
- Ibisch, P.L., Hoffmann, M.T., Krefl, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., et al. 2016. A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*, 354(6318): 1423–1427.

- Jacobson, S.L., Bliss-Ketchum, L.L., de Rivera, C.E. & Smith, W.P. 2016. A behavior-based framework for assessing barrier effects to wildlife from vehicle traffic volume. *Ecosphere*, 7(4): e01345.
- Kilpatrick, A.M., Briggs, C.J. & Daszak, P. 2010. The ecology and impact of chytridiomycosis: an emerging disease of amphibians. *Trends in ecology & evolution*, 25(2): 109–118.
- Kovar, R., Brabec, M., Vita, R. & Bocek, R. 2009. Spring migration distances of some Central European amphibian species. *Amphibia-Reptilia*, 30(3): 367–378.
- Laurance, W.F., Clements, G.R., Sloan, S., O'Connell, C.S., Mueller, N.D., Goosem, M., et al. 2014. A global strategy for road building. *Nature*, 513(7517): 229–232.
- Li, Y., Cohen, J.M. & Rohr, J.R. 2013. Review and synthesis of the effects of climate change on amphibians. *Integrative Zoology*, 8(2): 145–161.
- Lizana, M. 2002. *Bufo bufo*. 103–106. In: Pleguezuelos, J. M., Márquez, R., Lizana, M. (eds.) *Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España*. Dirección General de la Conservación de la Naturaleza y Asociación Herpetológica Española. Madrid.
- López, J. 2021. Atropellos de fauna: treinta años de seguimiento. *Quercus*, 429: 74.
- Loureiro, E.D.S. 2014. *Identificação de fatores determinantes que influenciam o atropelamento de serpentes no sul de Portugal*. Tesis de máster. Universidade de Évora. Portugal.
- Mateo, J.A. 2017. Lagarto ocelado - *Timon lepidus*. In: Salvador, A., Marco, A. (eds.) *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid. <<http://www.vertebradosibericos.org/>>.
- Mestre, F., Lopes, H., Pinto, T., Sousa, L.G., Mira, A. & Santos, S.M. 2019. Bad moon rising? The influence of the lunar cycle on amphibian roadkills. *European Journal of Wildlife Research*, 65: 1–12.
- Miaud, C., Sanuy, D. & Avriллер, J.N. 2000. Terrestrial movements of the natterjack toad *Bufo calamita* (Amphibia, Anura) in a semi-arid, agricultural landscape. *Amphibia-Reptilia*, 21: 357–369.
- 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. 275–335. In: Camprdon i Subirach, J., Plana Bach, E. (eds.) *Conservación de la biodiversidad, fauna vertebrada y gestión forestal*. 2ª edición revisada y ampliada. Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Ortiz-Santaliestra, M.E. 2014. Sapo común – *Bufo spinosus*. In: Salvador, A., Martínez-Solano, I. (eds.) *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <<http://www.vertebradosibericos.org/>>.
- Pérez-Mellado, V., Márquez, R. & Martínez-Solano, Í. 2009. *Iberolacerta martinezricai*. In: *The IUCN Red List of Threatened Species 2009*: e.T61516A12499291. <<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009.RLTS.T61516A12499291.en>> [Consulta: 21 diciembre 2023].
- Périquet, S., Roxburgh, L., Le Roux, A. & Collinson, W.J. 2018. Testing the value of citizen science for roadkill studies: A case study from South Africa. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6: 15.
- Pinto, T., Santos, S.M., Mira, A. & Sillero, N. 2023. Importance of water availability for amphibian roadkill in a mediterranean landscape. *Biodiversity and Conservation*, 32(7): 2513–2537.
- Piñeiro, X., Romay, C.D., Ferreiro, G., Salvadores, T., González, E., Gaitán, O., et al. 2020. Importante evento de atropellos de *Salamandra salamandra* nos camiños da illa de Ons (Galicia) en outubro de 2019. *Chioglossa*, 4: 37–42.
- Pleguezuelos, J.M. 1998. *Elaphe scalaris* (Schinz, 1822). 390–407. In: Salvador, A. (coord.). *Reptiles*. In: Ramos, M.A. et al. (eds.) *Fauna Ibérica*, vol. 10. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). Madrid.
- PMVC. 2003. *Mortalidad de vertebrados en carreteras. Documento técnico de conservación nº 4*. Sociedad para la Conservación de los Vertebrados (SCV). Madrid.
- Reyes-Moya, I., Sánchez-Montes, G., Babik, W., Dudek, K. & Martínez-Solano, Í. 2023. Assessing fine-scale pondscape connectivity with amphibian eyes: An integrative approach using genomic and capture-mark-recapture data. *Molecular Ecology*, 47: 3159–3177.
- Rodríguez, C., D'Amico, M., Oñorbe, M., Caballero-Díaz, C., Cabezas-Díaz, S. & Cárdenas, F.J.G. 2024. Proyecto SAFE: más de 8.500 atropellos de fauna detectados. *Quercus*, 456: 40–41.
- Salvador, A. 2015. Lagartija colilarga - *Psammotromus algerius*. In: Salvador, A., Marco, A. (eds.) *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid. <<http://www.vertebradosibericos.org/>>.
- Sánchez-Montes, G. & Martínez-Solano, I. 2023. Seguimiento de poblaciones de anfibios mediante la integración de historiales de captura y herramientas moleculares. *Munibe Monographs. Nat Ser*, 5: 83–93.
- Santos, S.M., Carvalho, F. & Mira, A. 2011. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring surveys. *PLoS ONE*, 6: e25383
- Santos, X. 2015. Culebra viperina - *Natrix maura*. In: Salvador, A., Marco, A. (eds.) *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid. <<http://www.vertebradosibericos.org/>>.
- 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 biodiversity and conservation*, 30(1): 97–104.
- Sillero, N. 2008. Amphibian mortality levels on Spanish country roads: descriptive and spatial analysis. *Amphibia-Reptilia*, 29(3): 337–347.
- Teixeira, F.Z., Coelho, A.V.P., Esperandio, I.B. & Kindel, A. 2013. Vertebrate road mortality estimates: effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation*, 157: 317–323.
- Whiles, M.R., Hall, R.O., Dodds, W.K., Verburg, P., Huryn, A.D., Pringle, C.M., et al. 2013. Disease-driven amphibian declines alter ecosystem processes in a tropical stream. *Ecosystems*, 16: 146–157.
- Zhang, W., Shu, G., Li, Y., Xiong, S., Liang, C. & Li, C. 2018. Daytime driving decreases amphibian roadkill. *PeerJ*, 6: e5385.