

## Comunicación

# Impacto en la vida silvestre: una exploración del atropellamiento de fauna en carretera

## Impact on wildlife: an exploration of wildlife roadkill

Karime Angarita-Corzo<sup>1\*</sup>, Claudia P. Ceballos<sup>2</sup>, Cesar Rojano-Bolaño<sup>3</sup>,  
Nathalia M. Correa-Valencia<sup>1</sup>

### RESUMEN

El atropellamiento de fauna silvestre constituye uno de los efectos adversos más significativos de la construcción de carreteras a nivel mundial. Esta problemática representa una amenaza directa para la conservación de la biodiversidad, ya que conlleva a la disminución de la abundancia de las poblaciones y afecta la movilidad efectiva entre las comunidades de fauna silvestre. A nivel global, el crecimiento urbano y la expansión de las redes viales interfieren con la conectividad entre hábitats, generando conflictos entre humanos y animales. En el contexto latinoamericano, la expansión de las carreteras emerge como una preocupación particular, dado el déficit de regulaciones claras y la escasez de estudios sobre el impacto ecológico en las poblaciones silvestres. La presente revisión aborda el fenómeno del atropellamiento de fauna silvestre en carreteras, subrayando la importancia de implementar medidas de mitigación efectivas. Entre estas se incluyen la construcción de pasos de fauna, una adecuada señalización y programas educativos ambientales a fin de reducir el impacto negativo en la fauna silvestre. La adopción de

<sup>1</sup> Grupo de Investigación CENTAURO, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia

<sup>2</sup> Grupo de Investigación GAMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia

<sup>3</sup> Fundación Cunaguaro, Yopal, Colombia

\* Autor de correspondencia: Karime Angarita-Corzo; [karime.angarita@udea.edu.co](mailto:karime.angarita@udea.edu.co)

Recibido: 12 de febrero de 2024

Aceptado para publicación: 8 de diciembre de 2024

Publicado: 28 de febrero de 2025

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

medidas concretas y la concienciación sobre la importancia de coexistir de manera sostenible con la fauna silvestre se presentan como elementos clave para mitigar los impactos adversos de la infraestructura vial en los ecosistemas.

**Palabras clave:** autopistas, biodiversidad, colisión, mitigación, pasos de fauna, señalización

## ABSTRACT

Roadkill of wildlife is one of the most significant adverse effects of road construction worldwide. This issue represents a direct threat to biodiversity conservation, as it leads to a decrease in the abundance of populations and affects effective mobility between wildlife communities. At a global level, urban growth and the expansion of road networks interfere with the connectivity between habitats, creating conflicts between humans and animals. In the Latin American context, road expansion emerges as a particular concern, given the lack of clear regulations and the scarcity of studies on the ecological impact on wildlife populations. This review addresses the phenomenon of roadkill of wildlife, highlighting the importance of implementing effective mitigation measures. These include the construction of wildlife crossings, proper signage, and environmental education programmes to reduce the negative impact on wildlife. The adoption of concrete measures and awareness of the importance of coexisting sustainably with wildlife are presented as key elements to mitigate the adverse impacts of road infrastructure on ecosystems.

**Keywords:** freeways, biodiversity, collision, mitigation, signaling, wildlife crossings

## INTRODUCCIÓN

Las carreteras desempeñan un papel fundamental en el desarrollo económico y social tanto en entornos urbanos como rurales a nivel global. Facilitan el acceso a servicios cruciales como atención médica, mercados, educación y oportunidades laborales. Este acceso mejorado contribuye significativamente al fomento y logro del crecimiento socioeconómico en una región o en el área de influencia de la construcción (Quintero, 2009). No obstante, a pesar del impacto positivo en el desarrollo económico de una región, las carreteras también conllevan efectos adversos en los componentes abióticos (físicos) y bióticos (flora y fauna) circundantes. Entre los cambios abióticos más significativos se encuentran el aumento del ruido, la dispersión de contaminantes atmosféricos

y material particulado, alteraciones en los ciclos hidrobiológicos con contaminación de cuerpos de agua debido a vertidos de líquidos, aceites y combustibles, así como modificaciones en las condiciones micro climáticas (De La Ossa-V y Galván-Guevara, 2015).

Por un lado, las carreteras provocan una pérdida de espacio para las poblaciones de flora, alteran sus tasas de crecimiento y la reproducción de las especies, resultando en una afectación directa de la composición de las especies nativas presentes en la zona (Martín-Ramos, 2006). La construcción de vías también puede dar lugar a efectos de barrera (*barrier effect*) y efectos de borde (*border effect*), consecuencias directas de la fragmentación de los hábitats (Beebee, 2013). Estos efectos aíslan tanto a la flora como a la fauna, restringiendo el movimiento de los animales y la dispersión de estructuras reproductivas como las semillas (Arroyave *et al.*, 2006).

En el caso de la fauna silvestre, los animales pueden desplazarse hacia zonas más distantes del bosque o cruzar la carretera exponiéndose al riesgo de ser atropellados, siendo este último un peligro directo para la biodiversidad. Este fenómeno conlleva a la disminución del tamaño de la población y a la restricción del movimiento efectivo entre las poblaciones (Cuyckens *et al.*, 2016). Cuando las tasas de atropellamiento son elevadas, puede haber un impacto especialmente perjudicial en la diversidad genética (Balkenhol y Waits, 2009; Jackson y Fahrig, 2011), e incluso podría resultar en la extinción de especies silvestres (Garrah *et al.*, 2015). Este efecto se magnifica aún más en el caso de especies vulnerables o en peligro de extinción en una región. Por estas razones, los estudios que evalúan la mortalidad vial de la fauna silvestre son fundamentales para la conservación de los recursos naturales (Santos *et al.*, 2022).

Para preservar esta diversidad, resulta imperativo implementar planes de mitigación y monitoreo de la fauna afectada por atropellamientos. Entre las diversas aproximaciones reconocidas a nivel mundial, se incluyen la construcción de pasos de fauna estratégicos, señalización de advertencia para estos pasos, programas de educación ambiental, instalación de vallado perimetral, uso de disuasores artificiales en el perímetro y la gestión cuidadosa de los hábitats en los bordes de las vías, junto con un seguimiento constante de estas medidas (Jaramillo-Fayad, 2021). Estas estrategias no solo contribuirán a reducir el impacto sobre la fauna, sino que también facilitarán el desplazamiento de los animales entre diferentes fragmentos de hábitats, estabilizando así la dinámica poblacional y, en última instancia, posibilitando un tránsito seguro de la fauna a través de las carreteras (Sawaya *et al.*, 2013).

### Situación a Nivel Mundial

Una preocupación de relevancia actual a nivel global es el aumento de la urbanización, el cual contribuye a la fragmentación

de hábitats y a conflictos entre humanos y animales, impactando negativamente la biodiversidad y la preservación de los ecosistemas naturales (Ma Yi-fei y You Xue-yi, 2022).

Un dato destacado es la afectación del 77% de los recursos terrestres causada por las actividades humanas (IPCC, 2014). Entre estas actividades se encuentra el desarrollo de la ingeniería del siglo XX y la expansión de las carreteras, las cuales facilitan el desplazamiento rápido y conectan extensas distancias (Beebee, 2013). Aunque las carreteras impulsan el desarrollo urbano, indirectamente obstaculizan el movimiento y la distribución de numerosos animales, incluyendo anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Carvalho y Mira, 2011).

En esta situación, las poblaciones de fauna silvestre pueden perder la conectividad entre áreas, siendo afectadas por la incapacidad de desplazarse, una actividad crucial para la dispersión de semillas y la variabilidad genética (Riggio y Caro, 2017). Todas las especies de vertebrados que habitan la zona intervenida se vuelven vulnerables a estos cambios, tanto aquellas de tamaño pequeño (por ejemplo, artrópodos, anfibios, micromamíferos) como las de gran tamaño. Estos animales dependen de territorios para desplazarse y de rutas para la dispersión o migración (Fahrig y Rytwinski, 2009).

Por lo tanto, el atropellamiento de fauna se considera una problemática real y constante para la población silvestre. Países como Australia, Canadá, Estados Unidos y España han promovido la implementación de medidas de prevención y mitigación desde la década de 1980. En el caso de España, los accidentes con fauna autóctona, como grandes mamíferos como alces, venados y osos, resultaban en pérdidas de vidas humanas y generaban costos significativos para los sistemas de salud. Esta fue la razón principal para la implementación de estructuras de cruces seguros para animales (Van der Ree *et al.*, 2015), lo que corresponde a una motivación

indirecta pero igualmente influyente. El Cuadro 1 presenta algunos de los tipos de diseños propuestos a nivel mundial para mitigar el atropellamiento vehicular de fauna silvestre y restablecer la conectividad entre coberturas.

### Situación en Latinoamérica

América Latina se destaca como una región con un significativo impulso en la expansión de su red vial, a la par de ser una de las áreas más biodiversas del mundo, englobando 8 de los 25 puntos críticos a nivel global para la conservación de la biodiversidad (McCracken y Forstner, 2014). Para ilustrar esta realidad, en los últimos años se han implementado planes para construir y ampliar aproximadamente 12 000 km de carreteras en la cuenca del Amazonas (Vilela *et al.*, 2020), lo que incrementaría las posibilidades de atropellos y la mortalidad de las comunidades de vida silvestre.

La investigación de esta problemática ha ganado relevancia tanto a nivel local como global en los países latinoamericanos. Un análisis previo, que abarcó el periodo 1990-2017, documentó 197 estudios científicos sobre los efectos de las carreteras en la fauna silvestre, siendo la mayoría de ellos realizados en América del Sur (89%), y el 11% restante en Centroamérica. Brasil encabeza la lista con la mayor cantidad de investigaciones (n=112), seguido por Argentina (n=22), Colombia (n=17), Bolivia (n=15), Ecuador (n=12), Chile (n=7), Venezuela (n=5), Perú (n=4) y Guayana Francesa (n=3). Entre los países centroamericanos, México, Costa Rica y Panamá lideran en cantidad de estudios, con 120, 10 y 3 investigaciones, respectivamente. Según la información recopilada, las aves y los reptiles son los grupos taxonómicos más afectados por atropellos, seguidos de los mamíferos y anfibios. En cuanto a la categorización de especies amenazadas, los mamíferos presentan 19 especies en la categoría de amenaza según la UICN, seguidos por las aves, reptiles y anfibios (Pinto *et al.*, 2020).

Es fundamental destacar los avances en la investigación de estrategias de mitigación en Latinoamérica, donde diversos estudios proponen la implementación de estructuras como pasos inferiores y vallas para reducir la mortalidad de anfibios (Coelho *et al.*, 2012) y mamíferos medianos a grandes (Huijser *et al.*, 2013; Bueno *et al.*, 2015; Ascensao *et al.*, 2017), así como para garantizar la conectividad de jaguares en Centroamérica (Colchero y Conde, 2011; Araya-Gamboa y Salom-Pérez, 2015; Mata *et al.*, 2016) y proteger a las vicuñas en Chile (Mata *et al.*, 2016).

### Situación en Colombia

En Colombia, en los últimos años se han llevado a cabo obras viales de gran envergadura como parte del Plan Maestro de Transporte Intermodal (Ministerio del Transporte, 2011). Estas obras tienen como objetivo conectar diferentes municipios y mejorar la competitividad del país. Un componente clave de este proyecto de infraestructura es la implementación de las vías de Cuarta Generación (4G), que abarcan más de 8000 km de carreteras, incluyendo 1370 km de doble calzada y 140 túneles en más de 40 nuevas concesiones (MARM, 2010; Andrade, 2011).

Esta expansión vial ha resaltado la importancia de la preservación de la biodiversidad, convirtiéndose en un enfoque central para diversos actores, tanto independientes (incluyendo investigadores, docentes y profesionales en conservación) como gubernamentales (como las Corporaciones Autónomas Regionales - CARs), comprometidos con la protección de los recursos naturales en Colombia. Sin embargo, la recopilación de datos sobre atropellamientos de fauna se encuentra en una etapa inicial en el país. Esto representa un desafío significativo para la conservación de la biodiversidad del país. Para abordar este problema, desde 2014 se propuso la creación de la aplicación Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada (RECOSFA, 2022), red que busca consolidar la colaboración entre la comuni-

Cuadro 1. Descripción de las tipologías para la mitigación del atropellamiento vehicular de fauna silvestre reportadas por la literatura mundial

Tipología		Definición	Referencia
Conectividad ecológica	Restauración ecológica	Restauración de los valores de biodiversidad, creación o mejoramiento de nuevos hábitats. Reforestación.	Quintero (2009)
Estructuras viales existentes no diseñadas originalmente para pasos de fauna	Drenajes circulares <i>Box culverts</i>	Drenaje de calzada, permitiendo el paso de agua.	Jaramillo-Fayad (2021)
	Viaductos	Son vías para el paso de vehículos en áreas montañosas (aéreas), evitando pasar por el valle, con una mínima afectación al ecosistema existente.	Ministerio del Transporte (2011)
Pasos de personas y fauna (mixtos)	Pasos secos multifuncionales	Pasos para peatones que van por debajo de la carretera (no son diseñados para drenaje de aguas).	
	Pasos superiores mixtos Pasos inferiores mixtos	Su función original es el restablecimiento de carreteras y caminos y, de forma secundaria, pueden ser utilizados para el paso de fauna.	
Pasos o estructuras específicas para fauna	Pasos superiores específicos.	Estructuras transversales diseñadas para el tránsito de fauna.	Jaramillo-Fayad (2021)
	Pasos arbóreos	Pasos especiales diseñados para conectar el dosel de los árboles a lado y lado de las carreteras.	
	Túneles para anfibios	Pasos especiales construidos para la migración o movimiento diario de anfibios, dirigiendo a los animales a la vegetación contigua.	Andrews <i>et al.</i> (2015)
Sistema de cercado	Vallado perimetral	Implementados para evitar que los animales entren a la vía y para que crucen hacia los pasos de fauna.	Jaramillo-Fayad (2021)
Rampas y mecanismos de escape	Escape de los vallados	Permite que la fauna pueda salir de forma segura en caso de estar atrapados por las vallas perimetrales o muros. Uso exclusivo para fauna.	RACC (2011)
Disuasores artificiales	Dispositivos acústicos, repelentes olfativos y disuasorios visuales	Artefactos que emiten disuasores olfativos, sonoros o visuales. Se busca que los animales sean alertados y eviten o crucen con cautela la vía.	RACC (2011); Van der Ree <i>et al.</i> (2015)
Señalización de advertencia y reductores de velocidad de vehículos	Señales de tránsito	Informa de la vía la alta probabilidad del cruce de fauna silvestre. Se invita a conducir con precaución.	Pomareda <i>et al.</i> (2014)
	Señales electrónicas	Paneles que generan señales destellantes durante la noche para la advertencia de animales nocturnos terrestres en la vía.	RACC (2011); MARM (2010)
Reductores de velocidad	Reductores de velocidad	Alternativa para indicar al conductor la disminución de velocidad por la zona.	Pomareda <i>et al.</i> (2014)
Educación	Educación ambiental	Proceso paralelo a las demás medidas de mitigación. Se profundiza en sensibilización a comunidades adyacentes, usuarios de la vía y personal encargado en el desarrollo vial. Puede ser integrado al sistema de educación vial e incorporar material como manuales o cartillas.	Pomareda <i>et al.</i> (2014)
Investigación	Ecología de carreteras	Las investigaciones en torno a la ecología de carreteras es una implementación a las medidas de mitigación.	Jaramillo-Fayad <i>et al.</i> (2019)
Monitoreo de medidas de mitigación implementadas	Seguimiento	Un programa de monitoreo de las medidas de mitigación implementadas con el fin de evaluar su efectividad.	Morantes-Hernández (2017)

dad científica y los ciudadanos, con el objetivo de desarrollar estrategias para reducir el número de atropellos de animales en las carreteras.

El cruce de fauna vertebrada por autopistas incrementa la probabilidad de atropellamiento (De La Ossa O y De La Ossa V, 2013). Este impacto puede ser más frecuente para ciertos grupos de animales, como los reptiles, ya que las carreteras generan atracción hacia la obtención de calor, además de atraer a animales oportunistas o carroñeros (De La Ossa y Galván-Guevara, 2015).

Los datos recopilados a través de RECOFA (2022) indican cerca de 5600 animales atropellados entre 2014 y 2019 a nivel nacional, siendo más afectados los mamíferos (45%), seguidos por las aves (32%), los anfibios (15%) y, por último, los reptiles (8%). Según estos datos, las especies más afectadas por atropellos son la zarigüeya común (*Didelphis marsupialis*), el zorro perro (*Cerdocyon thous*), el oso melero (*Tamandua* spp), la ardilla cola roja (*Notosciurus granatensis*) y la iguana verde (*Iguana iguana*) (Jaramillo-Fayad, 2021).

La obtención de datos sobre los puntos de atropellamiento o puntos críticos beneficia al consolidar la información base para la proyección de medidas de mitigación, incluyendo pasos de fauna, señalización, reductores de velocidad, entre otros (Morantes-Hernández, 2017). Asimismo, es esencial realizar monitoreos para verificar la efectividad de estas medidas. A modo de ejemplo, Mata (2007) utilizó métodos de control, como el registro de huellas, sensores de movimiento y cámaras digitales para verificar la funcionalidad de varios pasos de fauna ya construidos en España.

En Colombia no existe una reglamentación clara sobre la obligatoriedad de medidas de mitigación, como pasos o corredores de fauna silvestre en el diseño e implementación de las vías civiles. Si bien el Manual de Dise-

ño Geométrico de Carreteras dispone parámetros para garantizar la elaboración de diseños y requerimientos para proyectos viales, no incluye directrices para el diseño de pasos de fauna como propuesta de mitigación al atropellamiento de animales silvestres ni aborda temas relacionados con los mismos (INVIAS, 2008). Actualmente, se encuentra en estudio un proyecto de ley propuesto para el Senado de la República de Colombia, el cual define los pasos de fauna como una estrategia para la prevención y mitigación del atropellamiento. El objetivo principal de este proyecto de ley es prevenir y mitigar los riesgos de accidentalidad o cualquier deterioro del bienestar animal (Congreso de la República de Colombia, 2021).

La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) es responsable de otorgar los permisos ambientales para la construcción vial en todo el territorio nacional. Por esta razón, algunas concesiones viales, como la Ruta del Sol, Desarrollo Vial al Mar SAS-Devimar, y el Consorcio ambiental San Francisco-Mocoa, implementan acciones dentro de sus Planes de Manejo Ambiental (PMA) como señalización y controles de velocidad, con el objetivo de reducir la probabilidad de atropellos de fauna silvestre (Helios, 2011; Consultoría Colombiana, 2017; Consorcio Ambiental San Francisco, 2022).

Dentro de las vías 4G, el proyecto vial Ruta del Sol sector 2, que se extiende desde Puerto Salgar (Cundinamarca) hasta San Roque (Cesar), incluye la construcción de 28 pasos inferiores de fauna y cuatro pasos aéreos o arborícolas (Agencia Nacional de Infraestructura, 2016). Otros proyectos viales en fase constructiva o en etapa final, como el Proyecto Concesión Autopista Conexión Pacífico 2, el Proyecto Malla Vial del Meta y el Proyecto Vías del Nus resaltan la necesidad y funcionalidad de las implementaciones propuestas para mitigar el atropellamiento de fauna silvestre en el país, evidenciando cómo se están ejecutando con miras a lograr efectividad.

En el desarrollo de este manuscrito, la fortaleza radicó en la experiencia de los autores en la investigación de vida silvestre y el atropellamiento de fauna. La principal debilidad fue la dificultad en la búsqueda de información sobre las medidas de implementación para la mitigación del atropellamiento de fauna silvestre, dado que no existe una propuesta clara sobre estas medidas para reducir la mortalidad de fauna en las vías a ningún nivel (nacional, regional o internacional). Finalmente, las oportunidades ofrecidas por una revisión detallada de la información sobre el atropellamiento de fauna silvestre y las implementaciones a nivel mundial, latinoamericano y nacional permiten enfocar futuras investigaciones para complementar los vacíos existentes.

Se concluye que las pérdidas de animales silvestres debido a atropellamientos demandan un estudio más exhaustivo con el objetivo de comprender a fondo las necesidades de las especies más afectadas y su importancia ecológica en el área de interés. Esto se realiza con el único propósito de proponer, implementar y dar seguimiento a medidas verdaderamente eficaces para controlar las colisiones con nuestra fauna silvestre en la construcción de nuevas redes viales.

#### LITERATURA CITADA

1. **Agencia Nacional de Infraestructura. 2016.** En la Ruta del Sol. Pasos de fauna, infraestructura pensada para el bienestar de todos. Oficina de Comunicaciones ANI 1–2. [Internet]. Disponible en: [https://www.ani.gov.co/sites/default/files/pasos\\_de\\_fauna](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/pasos_de_fauna)
2. **Andrade Moreno L. 2011.** Cuarta Generación de concesiones en Colombia. Agencia Nacional de Infraestructura. [Internet]. Disponible en: [https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta\\_generacion\\_de\\_concesiones-luis-fernando\\_andrade\\_moreno.pdf](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/cuarta_generacion_de_concesiones-luis-fernando_andrade_moreno.pdf)
3. **Andrews K, Nanjappa P, Riley S. 2015.** Roads and ecological infrastructure: concepts and applications for small animals. USA: Johns Hopkins University Press. 304 p.
4. **Araya-Gamboa D, Salom-Pérez R. 2015.** Identificación de sitios de cruce de fauna en la ruta 415, en el «Paso de Jaguar», Costa Rica. *Infraestructura Vial* 17: 5-12. doi: 10.15517/iv.v17i30.21238
5. **Arroyave MDP, Gómez C, Gutiérrez ME, Múnera DP, Zapata PA, et al. 2006.** Impactos de las carreteras sobre fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *EIA* 3: 45-57.
6. **Ascensao F, Desbiez ALJ, Medici EP, Bager A. 2017.** Spatial patterns of road mortality of medium-large mammals in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Wildlife Res* 44: 135-146. doi: 10.1071/WR16108
7. **Balkenhol N, Waits LP. 2009.** Molecular Road ecology: exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. *Mol Ecol* 18: 4151-4164. doi: 10.1111/j.1365-294X.2009.04322.x
8. **Beebee TJC. 2013.** Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conserv Biol* 27: 657-668. doi: 10.1111/cobi.12063
9. **Bueno C, Sousa COM, Freitas SR. 2015.** Habitat or matrix: which is more relevant to predict road-kill of vertebrates? *Braz J Biol* 75: 228-238. doi: 10.1590/1519-6984.12614
10. **Carvalho F, Mira A. 2011.** Comparing annual vertebrate road kills over two time periods, 9 years apart: a case study in Mediterranean farmland. *Eur J Wildlife Res* 57: 157-174. doi: 10.1007/s10344-010-0410-0
11. **Coelho IP, Teixeira FZ, Colombo P, Coelho AVP, Kindel A. 2012.** Anuran road kills neighbouring a peri-urban reserve in the Atlantic Forest, Brazil. *J Environ Manage* 112: 17-26. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.07.004

12. **Colchero F, Conde DA, Manterola C, Chávez C, Rivera A, Ceballos G 2011.** Jaguars on the move: modeling movement to mitigate fragmentation from road expansion in the Mayan Forest. *Anim Conserv* 14: 158-166. doi: 10.1111/j.1469-1795.2010.00406.x
13. **Congreso de la República de Colombia. 2021.** Cámara de Representantes. Comisión Quinta Constitucional Permanente. Proyecto Cámara 132/2019C.
14. **Consultoría Colombiana S.A. 2017.** Estudio de impacto ambiental para la construcción de la segunda calzada Túnel- San Jerónimo UF 1 y 3 del proyecto Autopista Mar 1. Elaborado para Devimar. Bogotá. Colombia. 231 p. [Internet]. Disponible en: [https://devimar.co/phocadownloadpap/LicenciasAmbientales/Licencia AmbientalUF21/EIAUF21/Cap%C3%ADtulo%201%20y%202\\_Generalidades.pdf](https://devimar.co/phocadownloadpap/LicenciasAmbientales/Licencia AmbientalUF21/EIAUF21/Cap%C3%ADtulo%201%20y%202_Generalidades.pdf)
15. **Consortio ambiental San Francisco - Mocoa. 2022.** [Internet]. Disponible en: <https://consulobras.com/consorcio-ambiental-variante-san-francisco-mocoa/>
16. **Cuyckens GAE, Mochi LS, Vallejos M, Perovic PG, Biganzoli F. 2016.** Patterns and composition of road-killed wildlife in northwest Argentina. *Environ Manage* 58: 810-820. doi: 10.1007/s00267-016-0755-6
17. **De La Ossa Nadjar O, De La Ossa VJ. 2013.** Fauna silvestre atropellada en dos vías principales que rodean los Montes de María, Sucre, Colombia. *RECIA* 5: 158. doi: 10.24188/recia.v5.n1.2013.481
18. **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 Colomb* 6: 67-77.
19. **Fahrig L, Rytwinski T. 2009.** Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecol Soc* 14: 21. doi: 10.5751/ES-02815-140121
20. **Garrah E, Danby R, Eberhardt E, Cunningham G, Mitchell S. 2015.** Hot spots and hot times: wildlife road mortality in a regional conservation corridor. *Environ Manage* 56: 874-889. doi: 10.1007/s00267-015-0566-1
21. **Helios. Consorcio Vial. 2011.** Estudio de impacto ambiental del proyecto vial ruta del sol- sector I: Villeta - El Korán. Capítulo 7 Plan de manejo ambiental. 2361-00-EV-RP-00107- 1 285pp. [Internet]. Disponible en: [https://infraestructura.org.co/bibliotecas/VPT/Seguimientoproyectos/proyecto\\_ruta\\_sol.pdf](https://infraestructura.org.co/bibliotecas/VPT/Seguimientoproyectos/proyecto_ruta_sol.pdf)
22. **Huijser MP, Delborgo Abra F, Duffield JW. 2013.** Mammal road mortality and cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with capybara (*Hydrochoerus hydrocaeris*) in Sao Paulo state, Brazil. *Oecologia Aust* 17: 129-146. doi: 10.4257/oeco.2013.1701.11g
23. **[INVIAS] Instituto Nacional de Vías. 2008.** Manual de diseño geométrico de carreteras. *Ciencia*. 84: 1-6.
24. **[IPCC]. 2014.** Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 157 p. [Internet]. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
25. **Jackson ND, Fahrig L. 2011.** Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biol Conserv* 144: 3143-3148. doi: 10.1016/j.biocon.2011.09.010
26. **Jaramillo-Fayad J, Clevenger A, Grilo C, Oliveira L, Araya D, Colino V, Keller G 2019.** Conservación de la biodiversidad a través de la ecología de las carreteras y la infraestructura verde. En: II Congreso Iberoamericano de Biodiversidad e Infraestructura Viaria. Medellín, Colombia.
27. **Jaramillo-Fayad JC, Velázquez MM, Premauer JM, González JL, González Vélez JC. 2021.** Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: guía para entender y diagnosticar este impacto. Go-

- bierno Nacional de Colombia. [Internet]. Disponible en: <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/10217/gobierno-nacional-lanza-guia-para-entender-y-diagnosticar-el-impacto-del-atropellamiento-de-fauna-silvestre-en-colombia/>
28. **Martín-Ramos B. 2006.** Estudio sobre la fragmentación de los hábitats de la red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan estratégico de infraestructura y transporte). Tesis de Ingeniero. Madrid, España: Univ. Politécnica de Madrid. 222 p.
  29. **Ma Yi-fei, You Xue-yi. 2022.** A sustainable conservation strategy of wildlife in urban ecosystem: Case of *Gallinula chloropus* in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Ecol Inform* 68: 101571. doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101571
  30. **Mata C, Malo JE, Galaz JL, Cadorzo C, Lagunas H. 2016.** A three-step approach to minimize the impact of a mining site on vicuña (*Vicugna vicugna*) and to restore landscape connectivity. *Environ Sci Pollut R* 23: 13626-13636. doi: 10.1007/s11356-016-7047-9
  31. **Mata C. 2007.** Utilización por vertebrados terrestres de los pasos de fauna y otras estructuras transversales de dos autovías del Centro-Noroeste peninsular. Tesis Doctoral. Madrid, España: Univ. Autónoma de Madrid. 235 p.
  32. **McCracken SF, Forstner MRJ. 2015.** Oil Road effects on the anuran community of a high canopy tank bromeliad (*Aechmea zebrina*) in the upper Amazon Basin, Ecuador. *PLoS One* 9: e85470. doi: 10.1371/journal.pone.0085470
  33. **[MARM] Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural & Marino. 2010.** Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de transporte. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural & Marino. 133 p.
  34. **Ministerio del Transporte. 2011.** Plan Maestro de Transporte Intermodal. [Internet]. Disponible en: <https://www.ani.gov.co/planes/plan-maestro-de-transporte-intermodal-22006>
  35. **Morantes-Hernández J. 2017.** Caracterización de las iniciativas encaminadas a reducir la mortalidad de fauna silvestre en carretera: panorama Colombia. Especialización en planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales. Universidad Militar Nueva Granada. [Internet]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/16945>
  36. **Pinto FA, Clevenger AP, Grilo C. 2020.** Effects of roads on terrestrial vertebrate species in Latin America. *Environ Impact Assess* 81: 106337. doi: 10.1016/j.eiar.2019.106337
  37. **Pomareda García E, Araya Gamboa D, Ríos Montero Y, Arévalo Huezco E, Aguilar Ruiz MC, Menacho Odio RM. 2014.** Guía ambiental «vías amigables con la vida silvestre». Costa Rica: Comité Científico de la Comisión Vías y Vida Silvestre. 75 p.
  38. **RACC. 2011.** Accidentes de tráfico con animales. Análisis de la situación a nivel europeo y español. Dirección General de Tráfico. [Internet]. Disponible en: [https://movilidad.racc.es/wp-content/uploads/importfichas/fichasFundacion/Multimedia/1428320118226/blob/28592\\_Estudio\\_de\\_accidentes\\_con\\_animales\\_definitivo\\_-\\_RACC.pdf](https://movilidad.racc.es/wp-content/uploads/importfichas/fichasFundacion/Multimedia/1428320118226/blob/28592_Estudio_de_accidentes_con_animales_definitivo_-_RACC.pdf)
  39. **[RECOFSA] Red colombiana de seguimiento de fauna atropellada. 2022.** [Internet]. Disponible en: <https://recosfa.com>
  40. **Riggio J, Caro T. 2017.** Structural connectivity at a national scale: Wildlife corridors in Tanzania. *Plos One* 12: e0187407. doi: 10.1371/journal.pone.0187407
  41. **Santos E, Cordova M, Rosa C, Rodrigues D. 2022.** Hotspots and season related to wildlife roadkill in the Amazonia-Cerrado transition. *Diversity* 14: 657. doi: 10.3390/d14080657
  42. **Sawaya M A, Clevenger AP, Kalinowski ST. 2013.** Demographic connectivity for ursid populations at wildlife crossing structures in Banff National Park. *Conserv Biol* 27: 721-730. doi: 10.1111/cobi.12075

43. **Quintero JD. 2009.** Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables. Panamá: The Nature Conservancy & Latin America Conservation Council. [Internet]. Disponible en: <https://fcds.org.co/wp-content/uploads/2021/01/carreteras-ambiental-mente-amigables-02-2016.pdf>
44. **Van der Ree R, Smith D, Grilo C. 2015.** Handbook of road ecology. John Wiley, 522 p. doi: 10.1002/9781118568170
45. **Vilela T, Malky Harb A, Bruner A, Laisa da Silva Arruda V, Ribeiro V, Auxiliadora Costa Alencar A, et al. 2020.** A better Amazon Road network for people and the environment. P Natl Acad Sci USA 117: 7095-7102. doi: 10.1073/pnas.1910-853117