TRABAJO DE GRADO
Opción MONOGRAFÍA

Impactos ecológicos de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre: efectos de la construcción y operación de carreteras

Corporación Universitaria Remington.

Facultad de Medicina Veterinaria

Especialización en Medicina de animales silvestres y exóticos

Luisa Fernanda Pamplona Palacios

Mateo Muñoz Acevedo

Tutor del trabajo de grado

Yina Paola Serna Trujillo. MVZ. Esp

Opción de trabajo de grado – Monografía

2026

Tabla de contenido

Resumen 4
Palabras clave: 5
Introducción 6
Pregunta de investigación: 8
Objetivos 10
Objetivo general 10
Objetivos específicos 10
Metodología de búsqueda de la información 10
Marco Teórico 12
1.1 Ecología de carreteras: 12
1.2Mortalidad por atropellamiento: 15
1.3 Fragmentación del hábitat: 17
1.4 Efecto barrera y conectividad ecológica: 19
1.5 Alteraciones comportamentales: 20
1.6 Medidas de mitigación dirigidas a disminuir los efectos de las carreteras sobre la fauna silvestre: 22
1.7 Normatividad colombiana asociada a la infraestructura vial y la protección de la fauna silvestre: 26
Conclusiones 33
Referencias 36

Lista de tablas

Tabla 1. Normatividad colombiana relacionada con fauna silvestre y proyectos viales…33

Resumen

El desarrollo de la infraestructura vial ha impulsado el crecimiento económico y la integración territorial, aunque también ha generado importantes transformaciones sobre los ecosistemas y la fauna silvestre. La presente monografía tuvo como propósito analizar, a partir de una revisión sistemática de la literatura científica, los principales impactos ecológicos derivados de la construcción y operación de carreteras, así como las medidas de mitigación implementadas para reducir sus efectos y el marco normativo colombiano relacionado con esta problemática.

La revisión permitió establecer que las carreteras ocasionan impactos que van más allá de la mortalidad por atropellamiento. Entre los efectos más relevantes se encuentran la fragmentación del hábitat, el efecto barrera, la disminución de la conectividad ecológica y las alteraciones en el comportamiento de numerosas especies, factores que comprometen la dinámica de las poblaciones y la conservación de la biodiversidad. Estas afectaciones resultan especialmente significativas en Colombia, debido a su condición de país megadiverso y a la expansión de la red vial sobre ecosistemas de alto valor ecológico.

Asimismo, la evidencia analizada muestra que estrategias como los pasos de fauna, los cercados de exclusión, el control de la velocidad, la restauración ecológica y el monitoreo continuo contribuyen a disminuir estos impactos cuando se incorporan desde la planificación de los proyectos y responden a las características del territorio.

Finalmente, se concluye que, aunque Colombia cuenta con un marco normativo orientado a la protección de la biodiversidad, persisten desafíos relacionados con la implementación efectiva de las medidas ambientales y su seguimiento. En consecuencia, fortalecer la articulación entre la

planificación vial, la gestión ambiental y la investigación científica constituye un elemento esencial para avanzar hacia un desarrollo de infraestructura compatible con la conservación de la fauna silvestre.

Palabras clave: Fauna silvestre, infraestructura vial, impactos ecológicos, medidas de mitigación, fragmentación del hábitat, atropellamiento de fauna, conectividad ecológica, ecología de carreteras, biodiversidad.

Introducción

El desarrollo de infraestructura vial constituye uno de los principales motores del crecimiento económico y la integración territorial en muchos países. Las carreteras facilitan el transporte de bienes, servicios y personas, contribuyendo al desarrollo social y económico de las regiones. Sin embargo, su construcción y posterior operación también generan múltiples impactos ambientales que afectan directamente a los ecosistemas naturales y a la biodiversidad que los habita (Arroyave et al., 2013).

Las carreteras modifican el paisaje natural mediante la fragmentación de hábitats, la pérdida de cobertura vegetal y la alteración de los patrones de movimiento de diversas especies. Además, generan mortalidad directa por atropellamientos y pueden actuar como barreras que dificultan el desplazamiento de los animales entre diferentes áreas del territorio, afectando la conectividad ecológica y el flujo genético entre poblaciones (Forman & Alexander, 1998). Por ejemplo, en regiones tropicales especies como el jaguar (*Panthera onca*) o el oso andino (*Tremarctos ornatus*) enfrentan riesgos elevados debido a sus amplios rangos de hogar, que se ven interrumpidos por estas barreras lineales.

Diversos estudios en Colombia han evidenciado que los atropellamientos afectan principalmente a especies de hábitos generalistas y alta movilidad, como la zarigüeya (*Didelphis marsupialis*), el zorro perro (*Cerdocyon thous*), los reptiles como iguanas (*Iguana iguana*). También se han reportado aves carroñeras como el gallinazo (*Coragyps atratus*) los cuales presentan alta vulnerabilidad debido a sus patrones de desplazamiento y comportamiento (RECOSFA, 2022; Rojano et al., 2015).

En las últimas décadas, el aumento de la red vial y del tráfico vehicular ha intensificado estos efectos, convirtiendo a las carreteras en uno de los factores de origen antrópico que más contribuyen a la mortalidad de vertebrados en el mundo. Diversos estudios han demostrado que mamíferos, aves, reptiles y anfibios son frecuentemente afectados por colisiones con vehículos, lo que puede generar disminuciones poblacionales significativas, especialmente en especies con baja tasa reproductiva o con requerimientos ecológicos específicos (Trombulak & Frissell, 2000).

En países megadiversos como Colombia, esta problemática adquiere una mayor relevancia debido a la extraordinaria riqueza biológica del país, el cual alberga más de 1.900 especies de aves, aproximadamente 540 especies de mamíferos y cerca de 800 especies de reptiles (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2021; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022). Sin embargo, la expansión de la infraestructura vial está generando una creciente presión sobre los ecosistemas, ya que numerosas carreteras atraviesan bosques tropicales, áreas protegidas y corredores biológicos, incrementando la fragmentación del paisaje y la pérdida de conectividad ecológica (Forman et al., 2003; Laurance et al., 2014; van der Ree et al., 2015). En muchos casos, estas obras no incorporan criterios ecológicos suficientes para prevenir o reducir los impactos sobre la fauna silvestre (Arroyave et al., 2013; Ministerio de Transporte et al., 2021).

En este contexto, el presente trabajo tiene como propósito analizar los principales impactos ecológicos generados por la construcción y operación de carreteras sobre la fauna silvestre, a partir de la revisión de literatura científica relacionada con la ecología de carreteras y la conservación de la biodiversidad. El análisis se centra en identificar los efectos más relevantes ocasionados por estas infraestructuras sobre la fauna silvestre y su relación con la pérdida de biodiversidad (Forman

& Alexander, 1998; Trombulak & Frissell, 2000; van der Ree et al., 2015). La necesidad de realizar este análisis surge debido al incremento de la expansión vial y a las modificaciones que estas obras producen en los ecosistemas, afectando procesos ecológicos fundamentales como el desplazamiento, la supervivencia y la conectividad entre poblaciones (Fahrig, 2003; Forman et al., 2003). Por ello, se abordan impactos como la mortalidad por atropellamientos, la fragmentación del hábitat, el efecto barrera y las alteraciones comportamentales de las especies, con el fin de comprender cómo estos factores influyen en la conservación de la fauna silvestre (Jaeger et al., 2005; van der Ree et al., 2015).

El alcance de este estudio corresponde a una revisión bibliográfica de carácter descriptivo, enfocada en investigaciones científicas relacionadas con la interacción entre infraestructura vial y fauna silvestre. A través de este análisis se busca aportar una visión integral de los principales impactos ecológicos asociados a las carreteras y resaltar la importancia de implementar medidas de mitigación que permitan reducir sus efectos negativos sobre la biodiversidad.

Pregunta de investigación:

¿Cuáles son los impactos ecológicos generados por la construcción y operación de carreteras sobre la fauna silvestre?

El desarrollo de infraestructuras viales constituye un factor clave para el crecimiento económico y la integración territorial. No obstante, estas construcciones generan cambios profundos en los ecosistemas naturales, especialmente en la fauna silvestre que habita en las áreas cercanas a las carreteras (Niño, 2021). Estos cambios se producen como consecuencia de la

alteración de la cobertura vegetal, la fragmentación de los hábitats, el efecto barrera y el incremento de la mortalidad por atropellamiento. En este sentido, diversos estudios han demostrado que las carreteras no solo modifican la estructura y funcionalidad del paisaje, sino que también afectan la abundancia, distribución, movimiento y supervivencia de numerosas especies de fauna silvestre (Forman & Alexander, 1998; Trombulak & Frissell, 2000; Fahrig & Rytwinski, 2009; van der Ree et al., 2015).

Uno de los impactos más evidentes es el atropellamiento de animales, el cual representa una de las principales causas de mortalidad para muchas especies de vertebrados. Otro impacto importante corresponde al efecto barrera, mediante el cual las carreteras pueden actuar como barreras físicas que dificultan los desplazamientos naturales de los animales, reduciendo la conectividad entre hábitats y afectando el flujo genético entre poblaciones (Arroyave et al., 2013).

Este problema adquiere mayor relevancia en países megadiversos como Colombia, donde la expansión de la infraestructura vial atraviesa ecosistemas estratégicos como bosques tropicales, humedales y áreas protegidas. La falta de estudios sistemáticos y de medidas de mitigación adecuadas ha contribuido a que los impactos sobre la fauna silvestre continúen aumentando (Angarita-Corzo et al., 2025).

En consecuencia, surge la necesidad de analizar de manera integral los impactos ecológicos asociados a las carreteras y su relación con la conservación de la biodiversidad.

Objetivos

Objetivo general

Analizar los impactos ecológicos, comportamentales y poblacionales generados por la construcción y operación de las carreteras sobre la fauna silvestre, así como revisar las principales estrategias de mitigación y el marco normativo colombiano orientados a la conservación de la biodiversidad en Colombia.

Objetivos específicos

1. Examinar los cambios comportamentales que se generan en la fauna silvestre como consecuencia de la construcción y operación de carreteras.

2. Identificar y describir las principales medidas de mitigación implementadas para reducir los impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre.

3. Evaluar el marco normativo colombiano en relación con la gestión de los impactos de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre.

Metodología de búsqueda de la información

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, mediante una revisión sistemática de la literatura orientada a identificar, analizar e integrar la evidencia científica

disponible sobre los impactos ecológicos generados por la construcción y operación de carreteras sobre la fauna silvestre.

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos académicas reconocidas por su cobertura en áreas ambientales y ecológicas, entre las cuales se incluyen Google Scholar, SciELO, ScienceDirect, Redalyc y Scopus. Adicionalmente, se incorporaron términos específicos que permitieron afinar la búsqueda hacia los principales efectos estudiados en la literatura científica, como “roadkill”, “habitat fragmentation”, “ecological connectivity” y “wildlife mortality”. Estas estrategias permitieron obtener un conjunto amplio y representativo de publicaciones relevantes para el análisis.

Se incluyeron artículos científicos publicados en revistas indexadas, estudios enfocados en fauna silvestre y su relación con infraestructuras viales, investigaciones sobre impactos ecológicos directos e indirectos, en idioma español o inglés.

La síntesis de la información se realizó mediante un enfoque narrativo integrador, permitiendo contrastar los resultados de diferentes autores, identificar coincidencias y divergencias, y construir una interpretación global de los impactos ecológicos de las carreteras sobre la fauna silvestre. Adicionalmente, se llevó a cabo una evaluación crítica de la calidad de los estudios incluidos, considerando aspectos como el rigor metodológico, la claridad en los objetivos, la coherencia entre resultados y conclusiones, y la solidez de las evidencias presentadas.

El alcance de la investigación permitió obtener una visión amplia y fundamentada de la problemática a nivel global, integrando estudios desarrollados en diferentes contextos geográficos y ecológicos. Aunque se consideró evidencia científica internacional para enriquecer el análisis, la

investigación se centró principalmente en el contexto colombiano, atendiendo a las características ecológicas, normativas y de infraestructura vial propias del país. No obstante, se reconocen algunas limitaciones inherentes al diseño metodológico, como la dependencia de la disponibilidad de literatura científica, el posible sesgo de publicación y la heterogeneidad metodológica entre los estudios analizados.

Finalmente, el desarrollo de la investigación se llevó a cabo respetando los principios éticos de la producción académica, asegurando la correcta citación de las fuentes consultadas, el respeto por los derechos de autor y la fidelidad en la interpretación de la información científica. De esta manera, la metodología implementada proporciona una base sólida para el análisis de los impactos ecológicos de las carreteras sobre la fauna silvestre y contribuye al fortalecimiento del conocimiento en el campo de la ecología de carreteras y la conservación de la biodiversidad.

Marco Teórico

1.1 Ecología de carreteras:

La ecología de carretera es una disciplina científica interdisciplinaria que estudia las interacciones entre las infraestructuras viales y los sistemas ecológicos, integrando conceptos de la ecología del paisaje, la biología de la conservación, la ingeniería ambiental y la planificación territorial. Este campo surge como respuesta a la creciente evidencia de que las carreteras no solo cumplen una función socioeconómica, sino que también actúan como agentes de transformación del ambiente natural, generando impactos significativos sobre la biodiversidad y los procesos ecológicos (Forman & Alexander, 1998).

Uno de los principios fundamentales de la ecología de carreteras es que los impactos de la infraestructura vial no se limitan al área directamente ocupada por la carretera, sino que se extienden a escalas espaciales mayores, afectando procesos ecológicos clave como la dispersión, la migración y la dinámica poblacional. En este sentido, las carreteras generan una serie de efectos acumulativos que pueden alterar la funcionalidad de los ecosistemas a largo plazo (Trombulak & Frissell, 2000). Estos efectos incluyen tanto impactos directos, como la mortalidad por atropellamiento, como impactos indirectos, entre ellos la fragmentación del hábitat, la contaminación y la introducción de especies invasoras.

También incorpora el análisis de la fragmentación del paisaje, entendida como la subdivisión de hábitats continuos en parches aislados. Este fenómeno es particularmente relevante porque influye en la conectividad ecológica, es decir, en la capacidad de los organismos para desplazarse a través del territorio. La pérdida de conectividad puede reducir el flujo génico entre poblaciones y aumentar la vulnerabilidad de las especies a la extinción local (Fahrig, 2003). En este contexto, la disciplina enfatiza la importancia de mantener corredores ecológicos funcionales que permitan el movimiento de la fauna a través de paisajes fragmentados.

Otro componente clave de la ecología de carreteras es el estudio del efecto barrera**,** que se refiere a la capacidad de las carreteras para impedir o dificultar el desplazamiento de los organismos. Este efecto no depende únicamente de la estructura física de la vía, sino también de factores como el volumen de tráfico, la velocidad de los vehículos y las características comportamentales de las especies. Por ejemplo, especies con baja movilidad o alta sensibilidad a las perturbaciones pueden evitar cruzar carreteras, lo que contribuye al aislamiento poblacional (Forman et al., 2003).

Asimismo, la disciplina analiza los patrones de mortalidad por atropellamiento, uno de los impactos más visibles de las carreteras sobre la fauna silvestre. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en diferentes regiones del mundo y afecta a una gran variedad de grupos taxonómicos. La ecología de carreteras busca comprender los factores que determinan la ocurrencia de estos eventos, tales como la densidad de tráfico, la proximidad a hábitats naturales y los patrones de movimiento de las especies, con el fin de diseñar estrategias de mitigación efectivas (Trombulak & Frissell, 2000).

Recientemente, Goldfarb (2023) destaca que la ecología de carreteras ha evolucionado desde el estudio de los impactos directos de las vías hacia un enfoque integral que incorpora la conectividad del paisaje, la restauración ecológica y la planificación de infraestructura compatible con la conservación de la biodiversidad. El autor resalta que las carreteras representan una de las transformaciones humanas más extensas del planeta y que su adecuada planificación constituye un elemento clave para la conservación de los ecosistemas.

La ecología de carreteras se consolida como una disciplina esencial para promover una planificación territorial sostenible, debido a que facilita la incorporación de criterios ambientales en el diseño, construcción y operación de las infraestructuras viales. Este enfoque pretende armonizar el desarrollo humano con la conservación de la biodiversidad, mediante la implementación de estrategias que reduzcan los impactos ecológicos y mantengan la conectividad entre los ecosistemas. De esta manera, la ecología de carreteras no solo permite comprender las alteraciones que las vías generan sobre el ambiente natural, sino que también proporciona bases conceptuales y metodológicas útiles para la formulación de decisiones en la gestión y planificación ambiental.

1.2Mortalidad por atropellamiento:

La mortalidad por atropellamiento, conocida comúnmente como Roadkill es uno de los impactos más evidentes y estudiados de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre. Este fenómeno ocurre cuando los animales intentan cruzar las carreteras y son atropellados por vehículos, lo que genera una importante causa de mortalidad no natural en diferentes grupos de especies. Debido a su frecuencia y a la facilidad con la que puede observarse, el atropellamiento se ha convertido en un indicador clave para analizar los efectos negativos de las carreteras sobre la biodiversidad (Forman & Alexander, 1998).

Diversos estudios han evidenciado que el atropellamiento afecta una amplia variedad de especies, incluyendo mamíferos, aves, reptiles y anfibios. En el contexto latinoamericano y particularmente en Colombia, se han reportado con frecuencia especies como la zarigüeya común (*Didelphis marsupialis*), el zorro cangrejero (*Cerdocyon thous*), el armadillo (*Dasypus novemcinctus*) y tamandua (*Tamandua mexicana*), así como reptiles como serpientes y tortugas, que presentan alta vulnerabilidad debido a su comportamiento de desplazamiento lento y su uso de superficies cálidas como el asfalto (Arroyave et al., 2013; Monge-Nájera, 2018).

Otras especies de mayor tamaño también se ven afectadas por sus amplios rangos de distribución, como el jaguar (*Panthera onca*) y el oso andino (*Tremarctos ornatus*), aunque con una menor frecuencia de atropellamiento en comparación con otras especies. No obstante, el impacto sobre estos animales resulta especialmente preocupante, ya que presentan bajas densidades poblacionales y cumplen un papel ecológico fundamental dentro de los ecosistemas. En este sentido, al ser considerados depredadores tope o especies clave, su disminución puede

generar efectos negativos en la dinámica y el equilibrio de los ecosistemas. (Forman & Alexander, 1998).

La importancia de la mortalidad por atropellamiento no se limita únicamente al número de individuos afectados, sino que también radica en sus efectos ecológicos. Este fenómeno puede generar disminuciones en las poblaciones a nivel local, alterar la estructura de las comunidades biológicas e incluso contribuir a procesos de extinción local, especialmente cuando involucra especies endémicas o en algún grado de amenaza. Además, el atropellamiento no actúa de manera aislada, sino que se relaciona con otros impactos como la fragmentación del hábitat y la pérdida de conectividad ecológica, lo que intensifica sus efectos negativos sobre la biodiversidad (Laurance et al., 2014).

En el caso de Colombia, país reconocido por su alta biodiversidad, la problemática del atropellamiento de fauna silvestre ha adquirido una creciente importancia debido a la expansión de la infraestructura vial en ecosistemas estratégicos. Diversos estudios realizados en distintas regiones han identificado la presencia de múltiples puntos críticos de atropellamiento, especialmente en zonas cercanas a bosques, cuerpos de agua y áreas protegidas, donde la movilidad de la fauna es mayor. Sin embargo, la información disponible sigue siendo limitada y dispersa, lo que dificulta la comprensión integral del problema y la implementación de medidas de mitigación realmente efectivas (Angarita-Corzo et al., 2025).

En este contexto, el análisis de la mortalidad por atropellamiento es fundamental para comprender el verdadero impacto que generan las carreteras sobre la fauna silvestre. Asimismo, permite orientar el diseño e implementación de estrategias de manejo, como la construcción de pasos de fauna, la instalación de señalización vial y una adecuada planificación de las

infraestructuras, con el fin de reducir estos eventos y aportar a la conservación de la biodiversidad. (van der Ree et al., 2015).

La evidencia científica también ha permitido evaluar la efectividad de las estrategias utilizadas para disminuir la mortalidad por atropellamiento. Mediante un metaanálisis de estudios realizados en distintos países, Rytwinski et al. (2016) concluyeron que las medidas de mitigación reducen de manera significativa la mortalidad de fauna, siendo más eficaces cuando los pasos de fauna se complementan con cercados de exclusión. Los autores destacan que estas intervenciones no solo disminuyen los atropellamientos, sino que también favorecen la conectividad ecológica entre los fragmentos de hábitat.

1.3 Fragmentación del hábitat:

La fragmentación del hábitat es uno de los procesos ecológicos más relevantes asociados a la construcción y operación de carreteras y constituye una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a escala global. Este proceso ocurre cuando un hábitat originalmente continuo es dividido en parches más pequeños y aislados como consecuencia de la intervención humana, lo que modifica la estructura del paisaje, reduce la conectividad ecológica y altera la dinámica de las poblaciones de fauna silvestre (Fahrig, 2003).

En el contexto de la infraestructura vial, la fragmentación no solo implica la pérdida directa de cobertura vegetal durante la construcción de la carretera, sino también la subdivisión del territorio en unidades separadas por una matriz hostil, en este caso, la vía y su zona de influencia.

Esta fragmentación modifica la configuración espacial del hábitat, generando cambios en el tamaño, forma y conectividad de los parches disponibles para las especies (Forman et al., 2003)

Uno de los efectos más importantes de la fragmentación es la reducción del tamaño de los parches de hábitat, lo que puede limitar la disponibilidad de recursos como alimento, refugio y sitios de reproducción. Las poblaciones que quedan confinadas en fragmentos pequeños tienden a ser más vulnerables a eventos estocásticos, como cambios climáticos o enfermedades, aumentando el riesgo de extinción local (Fahrig, 2003). Este efecto es particularmente crítico en especies con grandes requerimientos de espacio, como mamíferos de gran tamaño.

La fragmentación también genera lo que se conoce como efecto de borde, el cual se refiere a los cambios en las condiciones ambientales que ocurren en las zonas de transición entre el hábitat natural y las áreas intervenidas. En los bordes, se presentan variaciones en factores como la temperatura, la humedad, la luminosidad y la exposición al viento, lo que puede alterar la composición de especies y favorecer la presencia de organismos oportunistas o invasores (Murcia, 1995).

En el caso de las carreteras, el efecto de borde se amplifica debido a la presencia constante de perturbaciones como el ruido, la contaminación y la actividad humana. Esto genera una “zona de influencia” que puede extenderse varios metros o incluso kilómetros desde la vía, afectando significativamente la calidad del hábitat disponible para la fauna (Forman & Alexander, 1998).

La fragmentación del hábitat representa un desafío importante, ya que dificulta la implementación de estrategias de manejo y protección de la biodiversidad. Para mitigar estos efectos, se han propuesto diversas medidas, como la creación de corredores ecológicos, la

restauración de hábitats y la implementación de pasos de fauna que permitan la conectividad entre fragmentos (Clevenger & Waltho, 2000).

En Colombia, la fragmentación del hábitat es especialmente preocupante debido a la alta biodiversidad del país y a la expansión de la infraestructura vial en regiones ecológicamente sensibles. Diversos estudios han señalado que la pérdida de conectividad en ecosistemas como los bosques tropicales puede tener consecuencias graves para la conservación de especies endémicas y amenazadas (Arroyave et al., 2013).

1.4 Efecto barrera y conectividad ecológica:

El efecto barrera es uno de los impactos más importantes asociados a la infraestructura vial, ya que las carreteras pueden convertirse en obstáculos que dificultan o incluso impiden el desplazamiento natural de la fauna silvestre. Este fenómeno se presenta cuando muchas especies evitan cruzar las vías, principalmente por factores como el tráfico vehicular, el ruido constante, la iluminación artificial y las propias características físicas de la carretera. Como consecuencia, su movilidad dentro del paisaje se ve limitada, lo que afecta sus desplazamientos diarios en busca de alimento, refugio o pareja. Además, esta restricción en el movimiento puede generar cambios en el comportamiento de los animales y en la forma en que utilizan su hábitat, reduciendo su capacidad de adaptarse a las condiciones del entorno (Forman & Alexander, 1998).

Una de las principales consecuencias del efecto barrera es la dificultad de movimiento de las especies. Muchas de ellas reducen o modifican sus desplazamientos para evitar el riesgo de atropellamiento, lo que puede restringir su acceso a recursos esenciales como alimento, agua y

refugio. Asimismo, esta limitación puede afectar procesos ecológicos importantes, como la migración, la dispersión y la búsqueda de pareja, generando cambios en el comportamiento de los individuos y en la dinámica de las poblaciones. (van der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. 2015),

Por otra parte, el efecto barrera también afecta directamente la conectividad ecológica, la cual se refiere a la capacidad del paisaje para permitir el desplazamiento de los organismos entre diferentes áreas. Cuando esta conectividad se reduce, las poblaciones tienden a quedar aisladas, lo que dificulta el intercambio de individuos entre ellas. Como consecuencia, se disminuye el flujo genético, aumentando el riesgo de endogamia y reduciendo la diversidad genética de las poblaciones. Esta situación puede afectar la capacidad de las especies para adaptarse a cambios en el ambiente y comprometer su supervivencia a largo plazo (Fahrig, 2003).

1.5 Alteraciones comportamentales:

Las carreteras no solo afectan físicamente a la fauna silvestre, sino que también pueden generar cambios en el comportamiento de muchas especies. Factores como el tráfico vehicular, el ruido, la iluminación artificial y la presencia humana relacionada con la infraestructura vial influyen en la forma en que los animales utilizan su hábitat y realizan sus actividades diarias. Como consecuencia, pueden verse afectados procesos importantes como la alimentación, el descanso, la reproducción y el desplazamiento de las especies (Forman & Alexander, 1998).

Uno de los cambios más frecuentes es la alteración en los patrones de actividad de las especies. Muchos animales modifican sus horarios de desplazamiento y alimentación para evitar las horas de mayor tráfico vehicular. En algunos casos, especies con hábitos diurnos comienzan a

presentar mayor actividad durante la noche, mientras que otras disminuyen el tiempo que dedican a buscar alimento o recorrer su territorio. Estos cambios en el comportamiento pueden generar un mayor desgaste energético y afectar el equilibrio natural de las especies (Trombulak & Frissell, 2000).

Además, el ruido producido por los vehículos puede afectar la comunicación entre los individuos, especialmente en aves y anfibios que utilizan sonidos para atraer pareja, defender su territorio o alertar sobre la presencia de depredadores. De igual forma, la iluminación artificial presente en algunas carreteras puede alterar los ciclos biológicos y los patrones naturales de actividad, principalmente en especies nocturnas, generando cambios en su comportamiento y en la forma en que utilizan su hábitat (Dominoni et al., 2014).

Otro comportamiento frecuente es la evitación de carreteras. Muchas especies tienden a evitar zonas cercanas a las vías debido al ruido, las vibraciones y la presencia constante de vehículos. Aunque este comportamiento puede disminuir el riesgo de atropellamiento, también limita el uso del hábitat disponible y reduce la movilidad de los animales dentro del paisaje. Como consecuencia, algunas poblaciones quedan aisladas o restringidas a áreas más pequeñas, lo que puede afectar su acceso a recursos esenciales y sus posibilidades de reproducción. (Jaeger et al., 2005).

En Colombia, estas alteraciones en el comportamiento representan una problemática importante, ya que muchas carreteras atraviesan ecosistemas con una alta diversidad de especies. Los cambios en los patrones de actividad y el comportamiento de evitación pueden afectar especialmente a aquellas especies más sensibles a la presencia humana, generando alteraciones en

su dinámica poblacional y en las relaciones ecológicas que mantienen dentro de los ecosistemas (Jaeger et al., 2005).

1.6 Medidas de mitigación dirigidas a disminuir los efectos de las carreteras sobre la fauna silvestre:

El creciente conocimiento acerca de las alteraciones que las carreteras generan sobre los ecosistemas ha favorecido la incorporación de múltiples alternativas destinadas a minimizar dichos impactos. Estas intervenciones persiguen varios objetivos simultáneos: disminuir la mortalidad ocasionada por los atropellamientos, mantener la conectividad ecológica entre fragmentos de hábitat y facilitar el desplazamiento natural de la fauna dentro del paisaje. No obstante, su éxito no depende exclusivamente de la construcción de las obras. También resulta indispensable que su diseño responda a las condiciones ecológicas particulares del área, a los requerimientos de las especies presentes y a procesos permanentes de seguimiento que permitan comprobar su funcionamiento y realizar los ajustes necesarios (van der Ree et al., 2015).

Entre las medidas de mayor aplicación se destacan los pasos de fauna, concebidos para restablecer el tránsito de los animales entre los sectores separados por la infraestructura vial. La configuración de estas estructuras varía de acuerdo con la topografía y con las necesidades biológicas de las especies objetivo. En algunos casos se implementan pasos elevados, como ecoductos o puentes verdes; en otros, se aprovechan estructuras inferiores mediante túneles, alcantarillas acondicionadas o viaductos. La literatura especializada coincide en que estos sistemas incrementan la permeabilidad del paisaje cuando son ubicados en corredores de movilidad

utilizados naturalmente por la fauna y cuando conservan características ambientales compatibles con los hábitos de las especies. Bajo estas condiciones, favorecen el intercambio entre poblaciones que, de otro modo, permanecerían aisladas por la presencia de la vía (Clevenger & Waltho, 2000; van der Ree et al., 2015).

A pesar de ello, la construcción de pasos de fauna, por sí sola, rara vez garantiza una reducción sustancial de los eventos de atropellamiento. Debido a esta limitación, numerosos proyectos complementan dichas estructuras con cercados de exclusión, cuyo propósito consiste en impedir que los animales accedan directamente a la calzada y conducir sus desplazamientos hacia los sitios de cruce diseñados para tal fin. La evidencia científica disponible demuestra que la integración de ambas estrategias ofrece resultados considerablemente superiores frente a su implementación independiente. En este sentido, el meta análisis realizado por Rytwinski et al. (2016), basado en investigaciones desarrolladas en diferentes regiones del mundo, evidenció que la combinación de cercados y pasos de fauna constituye una de las alternativas más eficaces para disminuir la mortalidad de animales silvestres sin comprometer la conectividad ecológica.

Otra herramienta empleada con frecuencia corresponde a la señalización preventiva instalada en zonas donde los registros históricos muestran una elevada incidencia de atropellamientos. Su finalidad consiste en advertir a los conductores sobre la posible presencia de fauna y promover una conducción más prudente. Sin embargo, diversos estudios coinciden en que este tipo de señalización produce beneficios limitados cuando se aplica de manera aislada. Su efectividad aumenta únicamente cuando forma parte de un conjunto de acciones complementarias, entre ellas la regulación de la velocidad vehicular o el control del tránsito en sectores con alta frecuencia de colisiones (Arroyave et al., 2013).

Bajo esta perspectiva, la velocidad de circulación se convierte en un factor determinante para disminuir el riesgo de accidentes con fauna silvestre. La implementación de límites de velocidad, reductores físicos y otras estrategias de pacificación del tráfico incrementa el tiempo disponible para que los conductores reaccionen ante la presencia de animales en la vía y, además, reduce la severidad de las colisiones cuando estas llegan a ocurrir. Tales medidas adquieren especial importancia en áreas protegidas, corredores biológicos y sectores próximos a bosques, humedales o cuerpos de agua, donde la actividad faunística suele concentrarse con mayor intensidad.

Más allá de las acciones correctivas instaladas durante la operación de una carretera, la planificación ambiental constituye una herramienta preventiva de gran relevancia. Incorporar criterios ecológicos desde las primeras etapas del diseño vial facilita la identificación de ecosistemas sensibles, permite reconocer corredores de movilidad utilizados por la fauna y ofrece la posibilidad de modificar el trazado antes de que se produzcan impactos irreversibles sobre el paisaje. En Colombia, este enfoque se materializa mediante los Estudios de Impacto Ambiental y los programas de manejo ambiental exigidos dentro del proceso de licenciamiento, instrumentos en los que se establecen medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación ajustadas a las particularidades de cada proyecto (ANLA, 2020; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Asimismo, las acciones orientadas a la restauración ecológica representan un componente importante para recuperar la funcionalidad del paisaje. La revegetación con especies nativas, junto con la rehabilitación de áreas degradadas, favorece el restablecimiento de corredores biológicos y mejora las condiciones necesarias para que la fauna se desplace entre fragmentos de hábitat

previamente aislados. De esta manera, es posible reducir parte de los efectos derivados de la fragmentación ocasionada por la infraestructura vial (Clevenger & Waltho, 2000).

Conviene señalar que ninguna de las medidas descritas puede considerarse plenamente efectiva sin la implementación de programas de monitoreo a largo plazo. El uso de cámaras trampa, el registro sistemático de atropellamientos, el seguimiento de huellas y la evaluación del uso de los pasos de fauna generan información indispensable para determinar el comportamiento de las especies frente a las intervenciones implementadas. Estos datos permiten detectar deficiencias, introducir mejoras y establecer si las estrategias realmente contribuyen a conservar la conectividad ecológica y a disminuir la mortalidad asociada al tránsito vehicular. En Colombia, diferentes investigaciones han advertido que uno de los principales retos consiste precisamente en fortalecer estos procesos de evaluación, ya que, aunque las medidas suelen ejecutarse como parte de las obligaciones derivadas del licenciamiento ambiental, con frecuencia su desempeño ecológico no es objeto de un seguimiento continuo (Arroyave et al., 2013).

En términos generales, la evidencia científica disponible demuestra que los resultados más favorables se obtienen cuando las medidas de mitigación son concebidas de manera integrada y no como intervenciones independientes. La articulación entre pasos de fauna, cercados de exclusión, estrategias de control de velocidad, restauración ecológica y programas permanentes de monitoreo incrementa significativamente las posibilidades de reducir los impactos que la infraestructura vial ejerce sobre la biodiversidad. Esta visión adquiere una importancia particular en Colombia, donde el crecimiento de la red de transporte continúa expandiéndose sobre territorios que albergan ecosistemas estratégicos y una elevada riqueza biológica.

1.7 Normatividad colombiana asociada a la infraestructura vial y la protección de la fauna silvestre:

La relación entre el desarrollo de infraestructura vial y la conservación de la fauna silvestre ha adquirido una creciente relevancia en el ámbito jurídico y ambiental contemporáneo, particularmente en países megadiversos como Colombia. La expansión de las redes de transporte terrestre, impulsada por dinámicas de crecimiento económico, integración territorial y competitividad, ha generado profundas transformaciones en los ecosistemas, afectando la conectividad ecológica, la estabilidad de las poblaciones silvestres y la funcionalidad de los paisajes naturales (Forman et al., 2003). Frente a este escenario, el ordenamiento jurídico colombiano ha desarrollado un conjunto de disposiciones constitucionales, legales, reglamentarias y políticas públicas orientadas a regular la interacción entre infraestructura y biodiversidad, configurando un marco normativo que busca armonizar el desarrollo vial con la protección ambiental.

La Constitución Política de Colombia, promulgada en 1991, ha sido ampliamente reconocida por incorporar un sólido enfoque ambiental, lo que la posiciona entre las cartas constitucionales con mayor desarrollo en materia ecológica dentro de América Latina. En su contenido, el ambiente adquiere la categoría de bien jurídico de especial protección, razón por la cual se asignan responsabilidades compartidas tanto al estado como a los ciudadanos para garantizar su preservación.

En este contexto, el artículo 8 dispone que corresponde al Estado y a todas las personas velar por la protección de las riquezas culturales y naturales de la Nación (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 8). A su vez, el artículo 79 consagra el derecho de la población a disfrutar de

un ambiente sano y reconoce la participación de la ciudadanía en aquellos procesos de decisión que puedan incidir sobre este derecho colectivo (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 79).

De manera complementaria, el artículo 80 establece que la administración de los recursos naturales debe desarrollarse bajo criterios de planificación, con el propósito de asegurar su aprovechamiento sostenible, así como su conservación, restauración y, cuando resulte necesario, su sustitución (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 80)

Los principios consagrados en la Constitución Política de Colombia constituyen la base sobre la cual se edifica el régimen jurídico ambiental aplicable a los proyectos de infraestructura vial. Con la expedición de la Carta Política de 1991 se produjo un cambio sustancial en la concepción del manejo de los recursos naturales, al pasar de un modelo orientado principalmente hacia su aprovechamiento económico a otro que reconoce la protección del ambiente, la sostenibilidad y la responsabilidad con las generaciones futuras como ejes fundamentales del desarrollo (Constitución Política de Colombia, 1991). Este nuevo enfoque permitió consolidar la función ecológica como un criterio transversal para la planificación del territorio y la ejecución de obras públicas, integrando la dimensión ambiental dentro de los procesos de desarrollo nacional.

Como desarrollo de estos postulados constitucionales fue expedida la Ley 99 de 1993, considerada el principal instrumento estructural del derecho ambiental colombiano. Mediante esta disposición se creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), se reorganizó la institucionalidad ambiental del país y se establecieron los principios que orientan la gestión ambiental, entre ellos la prevención, la precaución, la participación ciudadana y la responsabilidad ambiental (Congreso de Colombia, 1993), los cuales resultan esenciales en la evaluación de proyectos viales. En términos conceptuales, el principio de prevención exige intervenir antes de que se produzca un

daño ambiental identificable, mientras que el principio de precaución determina que la ausencia de certeza científica absoluta no constituye una justificación válida para aplazar la adopción de medidas dirigidas a evitar afectaciones graves o irreversibles sobre el ambiente (Ley 99 de 1993, art. 1).

Estos principios encuentran su aplicación práctica mediante el procedimiento de licenciamiento ambiental, considerado el principal instrumento de gestión para evaluar la viabilidad ambiental de proyectos, obras o actividades susceptibles de generar impactos significativos sobre los recursos naturales. A través de este mecanismo se identifican, valoran y gestionan los posibles efectos ambientales, definiéndose las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación que deberán implementarse durante las diferentes etapas del proyecto (Congreso de Colombia, 1993; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015). Actualmente, el procedimiento para la obtención de licencias ambientales se encuentra compilado en el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual establece los proyectos que requieren licencia ambiental por su potencial capacidad para generar deterioro significativo de los recursos naturales renovables o modificaciones relevantes del paisaje (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

En el caso específico de la infraestructura vial, la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) debe desarrollarse conforme a los términos de referencia y lineamientos técnicos expedidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Dichos documentos contemplan la caracterización de los componentes físico, biótico y socioeconómico, la identificación y valoración de los impactos sobre la fauna silvestre y los ecosistemas, así como la formulación de programas de manejo ambiental encaminados a prevenir, minimizar, corregir o

compensar los efectos derivados de la construcción y operación de las carreteras (ANLA, 2020). Desde el ámbito científico, estos lineamientos guardan estrecha relación con los fundamentos de la ecología del paisaje y la ecología de carreteras, disciplinas que han demostrado que la infraestructura vial modifica la dinámica ecológica de los ecosistemas al favorecer la fragmentación del hábitat, incrementar la mortalidad de fauna y alterar los procesos de conectividad ecológica (Forman & Alexander, 1998; Forman et al., 2003).

En materia de conservación, el marco normativo colombiano también incorpora un enfoque integral para la protección de la biodiversidad. La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos reconoce que la pérdida de conectividad ecológica, la fragmentación del paisaje y la transformación de los ecosistemas representan algunas de las principales amenazas para la diversidad biológica del país. En consecuencia, propone integrar criterios ecológicos dentro de la planificación sectorial y territorial, promoviendo la incorporación del enfoque ecosistémico en los procesos de toma de decisiones relacionados con el desarrollo y la infraestructura (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Desde el punto de vista ecológico, la conectividad puede entenderse como la capacidad del paisaje para facilitar o restringir el desplazamiento de los organismos entre diferentes fragmentos de hábitat (Taylor et al., 1993). Bajo esta perspectiva, las carreteras constituyen elementos capaces de interrumpir los movimientos naturales de la fauna, limitar la dispersión de individuos, reducir el flujo génico y favorecer el aislamiento de las poblaciones silvestres. En respuesta a esta problemática, los lineamientos técnicos adoptados para la evaluación ambiental de proyectos viales han incorporado medidas dirigidas a mantener o restablecer la conectividad funcional, entre ellas la implementación de pasos de fauna, estructuras de permeabilidad ecológica y otras

estrategias de manejo adaptativo cuando las características del proyecto así lo requieren (ANLA, 2020).

A pesar de los avances normativos alcanzados durante las últimas décadas, diversos estudios coinciden en señalar que persiste una diferencia importante entre el desarrollo jurídico y su aplicación efectiva. Andrade (2011) sostiene que uno de los principales retos de la gestión ambiental colombiana radica en la limitada articulación existente entre la planificación territorial, la expansión de la infraestructura y la conservación de la biodiversidad. Como consecuencia, continúan desarrollándose proyectos en áreas ecológicamente sensibles donde los criterios asociados con la conectividad ecológica y el manejo de fauna silvestre no siempre se incorporan de manera suficiente durante la planificación y ejecución de las obras.

La protección específica de la fauna silvestre también encuentra sustento en otras disposiciones del ordenamiento jurídico colombiano. El Decreto 2811 de 1974, mediante el cual se expidió el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, reconoce a la fauna silvestre como un recurso natural renovable cuya conservación resulta indispensable para mantener el equilibrio ecológico de los ecosistemas (Presidencia de la República, 1974). Posteriormente, la Ley 611 de 2000 fortaleció el régimen jurídico relacionado con el manejo sostenible de la fauna silvestre y estableció disposiciones para regular el aprovechamiento de las especies y garantizar la conservación de sus poblaciones naturales (Congreso de Colombia, 2000).

No obstante, la evidencia científica disponible indica que el cumplimiento de las obligaciones ambientales suele concentrarse en la satisfacción de requisitos administrativos más que en la evaluación de la eficacia ecológica de las medidas implementadas. Investigaciones

desarrolladas en diferentes corredores viales colombianos han identificado limitaciones relacionadas con el monitoreo de fauna, el seguimiento insuficiente de las acciones de mitigación y la ausencia de indicadores que permitan determinar si estructuras como los pasos de fauna realmente mantienen la conectividad funcional de los ecosistemas (Arroyave et al., 2013).

En conjunto, el marco jurídico colombiano aplicable a la infraestructura vial y la conservación de la fauna silvestre descansa sobre principios constitucionales que privilegian el desarrollo sostenible, la prevención del daño ambiental y la protección de la biodiversidad. Sin embargo, la revisión crítica de la literatura evidencia que la eficacia de este sistema no depende exclusivamente de la existencia de un amplio conjunto de normas, sino de su adecuada implementación, del seguimiento continuo de las medidas adoptadas y de una articulación efectiva entre las instituciones, la planificación territorial y el conocimiento científico, aspectos indispensables para promover modelos de infraestructura compatibles con la conservación de los ecosistemas.

Tabla 1. Normatividad colombiana relacionada con fauna silvestre y proyectos viales

Norma	**Aspectos clave**	**Relación con carreteras y fauna**
Constitución Política de Colombia de 1991	Establece el derecho a un ambiente sano, el deber de proteger los recursos naturales y el principio de desarrollo sostenible.	Constituye el fundamento jurídico para exigir evaluación y mitigación de impactos ambientales en carreteras y demás obras de infraestructura.

Decreto 2811 de 1974	Regula el manejo y conservación de los recursos naturales renovables y la fauna silvestre.	Establece bases legales para la protección de especies afectadas por obras de infraestructura y alteración de ecosistemas.
Decreto 1608 de 1978	Regula caza, transporte, conservación y manejo de fauna	Controla afectaciones directas a fauna en construcción de vías
Ley 99 de 1993	Crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y organiza la gestión ambiental en Colombia.	Introduce la obligatoriedad del licenciamiento ambiental para proyectos viales con potencial impacto sobre fauna y ecosistemas.
Ley 165 de 1994	Aprueba el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB).	Obliga al Estado colombiano a conservar la biodiversidad y reducir impactos sobre especies y ecosistemas.
Ley 611 de 2000	Regula el manejo sostenible de fauna silvestre.	Reconoce la necesidad de proteger especies silvestres frente a actividades antrópicas, incluyendo proyectos viales.
Ley 599 de 2000	Delitos contra recursos naturales	Sanciona daño a fauna por actividades no autorizadas
Ley 1333 de 2009	Establece el procedimiento sancionatorio ambiental.	Permite imponer sanciones por incumplimiento de obligaciones ambientales en proyectos de infraestructura vial.
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente.	Regula el licenciamiento ambiental y los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos viales.
Ley 1774 de 2016	Reconoce animales como seres sintientes	Refuerza protección frente a impactos indirectos

Ley 2111 de 2021	Fortalece delitos ambientales	Sanciona daños graves a fauna por proyectos mal ejecutados

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La presente monografía permitió analizar los principales impactos ecológicos derivados de la construcción y operación de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre, evidenciando que las carreteras constituyen uno de los factores de origen antrópico con mayor capacidad para transformar los ecosistemas y alterar los procesos ecológicos. A partir de la revisión de la literatura científica se constató que estos impactos no se limitan a la mortalidad directa por atropellamiento, sino que incluyen efectos indirectos como la fragmentación del hábitat, el efecto barrera, la pérdida de conectividad ecológica y las alteraciones comportamentales, los cuales actúan de manera conjunta y generan consecuencias acumulativas sobre la biodiversidad.

La mortalidad por atropellamiento representa uno de los efectos más visibles de la infraestructura vial; sin embargo, la evidencia científica demuestra que la fragmentación del paisaje y el aislamiento de las poblaciones pueden ocasionar consecuencias ecológicas de mayor alcance, al reducir el flujo genético, limitar el acceso a recursos esenciales y aumentar la vulnerabilidad de numerosas especies. Estos efectos adquieren especial importancia en Colombia debido a su condición de país megadiverso y a la expansión de la red vial sobre ecosistemas estratégicos y corredores biológicos de alto valor para la conservación.

Asimismo, la revisión permitió identificar que las carreteras modifican el comportamiento de la fauna silvestre mediante cambios en los patrones de actividad, desplazamiento, alimentación y reproducción. Estas respuestas comportamentales representan mecanismos de adaptación frente a la presencia de las vías; sin embargo, también pueden incrementar el gasto energético, restringir el uso del hábitat y afectar la viabilidad de las poblaciones a largo plazo. En consecuencia, los impactos de la infraestructura vial deben abordarse desde una perspectiva integral que considere tanto los efectos directos como los cambios ecológicos y comportamentales que ocurren a diferentes escalas.

En relación con las estrategias de mitigación, la literatura consultada evidencia que medidas como los pasos de fauna, los cercados de exclusión, la señalización vial, la reducción de la velocidad en zonas críticas y los programas de monitoreo constituyen herramientas efectivas para disminuir los impactos cuando son incorporadas desde las etapas de planificación, diseño, construcción y operación de los proyectos viales. No obstante, su éxito depende de una adecuada ubicación, del seguimiento permanente y de la integración de criterios ecológicos dentro de la planificación territorial.

Finalmente, el análisis del marco normativo colombiano permitió establecer que el país cuenta con una base jurídica sólida para la protección de la fauna silvestre y la gestión ambiental de los proyectos de infraestructura vial. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la implementación efectiva de la normatividad, el fortalecimiento del monitoreo ambiental y la incorporación sistemática de criterios de conectividad ecológica en los procesos de licenciamiento y planificación. En este sentido, resulta indispensable fortalecer la articulación entre la investigación científica, la gestión ambiental y la ingeniería vial, con el propósito de promover

modelos de desarrollo que armonicen las necesidades de infraestructura con la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los procesos ecológicos que sustentan los ecosistemas.

Referencias

Andrade, G. I. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Angarita-Corzo, K., Ceballos, C. P., Rojano-Bolaño, C., & Correa-Valencia, N. M. (2025). Wildlife roadkills in the Colombian Andes: Hotspots, causes, and most affected species. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, *38*(3). https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v38n3a02

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (2020). *Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental (EIA) para proyectos de infraestructura vial*. ANLA. https://www.anla.gov.co

Arroyave, M. P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., Andrade, L. M., & Ramos, K. C. (2013). Impacto de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA, 9*(17), 45–57.

Clevenger, A. P., & Waltho, N. (2000). Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology, 14*(1), 47–56. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.00099-085.x

Congreso de Colombia. (1991). *Ley 21 de 1991*. Por medio de la cual se aprueba el Convenio 169 de la OIT sobre pueblos indígenas y tribales.

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 165 de 1994*. Por medio de la cual se aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica.

Congreso de Colombia. (2000). *Ley 611 de 2000*. Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de fauna silvestre y acuática.

Congreso de Colombia. (2009). *Ley 1333 de 2009*. Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental

Dominoni, D. M., Carmona-Wagner, E. O., Hofmann, M., Kranstauber, B., & Partecke, J. (2014). Individual-based measurements of light intensity provide new insights into the effects of artificial light at night on daily rhythms of urban-dwelling songbirds. *Journal of Animal Ecology, 83*(3), 681–692. https://doi.org/10.1111/1365-2656.12150

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 34*, 487–515. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419

Fahrig, L., & Rytwinski, T. (2009). Effects of roads on animal abundance: An empirical review and synthesis. *Ecology and Society, 14*(1), 21.

Forman, R. T. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics, 29*, 207–231. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207

Goldfarb, B. (2023). *Crossings: How Road Ecology Is Shaping the Future of Our Planet*. W. W. Norton & Company.

Jaeger, J. A. G., Bowman, J., Brennan, J., Fahrig, L., Bert, D., Bouchard, J., Charbonneau, N., Frank, K., Gruber, B., & von Toschanowitz, K. T. (2005). Predicting when animal populations are at risk from roads: An interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling, 185*(2–4), 329–348. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.12.015

Laurance, W. F., Clements, G. R., Sloan, S., O'Connell, C. S., Mueller, N. D., Goosem, M., Venter, O., Edwards, D. P., Phalan, B., Balmford, A., van der Ree, R., & Arrea, I. B. (2014). A global strategy for road building. *Nature, 513*(7517), 229–232. https://doi.org/10.1038/nature13717

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012*).* Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.*

Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto Nacional de Vías (INVIAS), & Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). (2021). Guía para entender y diagnosticar el impacto del atropellamiento de fauna silvestre en Colombia.

Monge-Nájera, J. (2018). Road mortality of tropical wildlife: A review. *Cuadernos de Investigación UNED, 10*(1), 5–15.

Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: Implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution, 10*(2), 58–62. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6

Niño, M. F. (2021). Impacto de las carreteras sobre la fauna silvestre: relación de variables ambientales y acumulación de atropellamiento de fauna silvestre en vías de cundinamarca, Colombia.

RECOSFA. (2022). *Estadísticas y reportes de la base de datos*. Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada.

Rojano, C., Miranda, L. y Ávila, R. (2015). Área de vida y uso de hábitats de dos individuos de oso palmero (*Myrmecophaga tridactyla*) en Pore, Casanare, Colombia. *Edentata, 16*, 37-45.

Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos, 68*(3), 571–573.

Trombulak, S. C., & Frissell, C. A. (2000). Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology, 14*(1), 18–30. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x

Rytwinski, T., et al. (2016). *How effective is road mitigation at reducing road-kill? A meta-analysis. PLOS ONE.*

Van der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (Eds.). (2015). *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons.