



**Atropellamiento de fauna en Colombia: una revisión desde sus causas, conocimiento actual,
perspectivas de manejo y regulación**

Yuly Andrea García López

Juan David García Peluffo

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Asesor

Julio Eduardo Cañón Barriga, Doctor (PhD) en Hidrología

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gestión Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	(García López & García Peluffo, 2022)
Referencia	García López, Y A., & García Peluffo, J. D. (2022). <i>Atropellamiento de fauna en Colombia: una revisión desde sus causas, conocimiento actual, perspectivas de manejo y regulación</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Gestión Ambiental, Cohorte Seleccione cohorte posgrado.



Elija un elemento.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: John Dairo Zapata Ochoa

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	5
Abstract	6
1. Introducción	7
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo general	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
3. Metodología.....	11
4. Resultados.....	13
4.1. Factores que inciden en el atropellamiento y sus principales afectaciones a la fauna silvestre en las regiones de Colombia	13
4.1.1. Incidencia del atropellamiento en las regiones de Colombia.....	14
4.2. Estado actual de la normatividad asociada al fenómeno del atropellamiento de fauna silvestre en Colombia.....	21
4.3. El atropellamiento de fauna en Latinoamérica: ¿qué puede aprender Colombia de las experiencias de los países vecinos?.....	30
4.3.1. Pasos de fauna	31
4.3.2. Vallado perimetral.....	33
4.3.3. Señalización vial	34
4.3.4. Viaductos.....	35
4.3.5. Restauración de hábitat	36
4.3.6. Declaración de áreas protegidas y conservación del hábitat	37
4.3.7. Educación	39
5. Perspectivas y retos para Colombia	42

6. Conclusiones	44
Referencias	46

Lista de tablas

Tabla 1 Factores que inciden en el atropellamiento de fauna silvestre en Colombia	15
--	----

Tabla 2 . Normatividad Colombiana relacionada con la regulación del recurso fauna silvestre. .	21
---	----

Lista de figuras

Figura 1. Publicaciones sobre atropellamiento de fauna silvestre en las regiones de Colombia. .	14
--	----

Figura 2. Relación entre las normas colombianas relacionadas con el recurso fauna y consideradas en este documento. En verde se resaltan aquellas normas con especial relevancia para el tema de investigación abordado en este trabajo, en gris aquellas que, indirectamente, se asocian al tema abordado y, en amarillo aquellas normas que aún no han sido oficializadas.	24
--	----

Figura 3. Relación de jerarquía existente entre las estrategias de manejo del atropellamiento de fauna silvestre identificadas.	41
---	----

Resumen

A nivel académico y gubernamental existe una preocupación creciente por la problemática del atropellamiento de fauna silvestre en Colombia. Esta monografía revisa la literatura sobre las principales causas, factores, medidas de manejo y regulación que se encuentran actualmente en el país, para aportar al conocimiento de la conservación del medio ambiente y la fauna silvestre impactada por las carreteras. La metodología se basó en la revisión bibliográfica de artículos científicos, normativa vigente para Colombia y documentos de instituciones oficiales. La revisión identificó factores físicos (clima, tráfico, velocidad, geometría, bordes y residuos en la vía) y biológicos (fragmentaciones, cercanía a cruces de agua, comportamiento animal) que inciden en el atropellamiento, así como las principales especies afectadas en las distintas regiones del país (mayormente *Didelphis marsupialis*). La información disponible en las regiones es muy desigual, con notables deficiencias en la Orinoquía y la Amazonía. La normativa asociada al fenómeno del atropellamiento de fauna en Colombia muestra avances apoyados por documentación académica reciente que requiere un apoyo decidido de los entes gubernamentales para garantizar el éxito de su aplicación. La comparación con las medidas de mitigación en otros países latinoamericanos muestra una jerarquía de medidas como pasos de fauna, vallados perimetrales, señalización vial, viaductos, restauración de hábitats y áreas protegidas apoyadas por procesos de educación de la ciudadanía. Algunas de estas medidas se aplican en carreteras de Colombia, pero se necesita una intervención más integradora y con responsabilidades de los operadores de las vías y la ciudadanía para tener una incidencia real en la reducción de los atropellamientos.

Palabras clave: Atropellamiento de fauna silvestre, regulación, medidas de mitigación

Abstract

At an academic and governmental level, there is a growing concern about the problem of wildlife road killings in Colombia. This monograph reviews the literature on the main causes, factors, management and regulation measures in the country, with the aim of contributing to the knowledge of environment and wildlife protection in highways. The bibliographic review considered scientific articles, legal documentation and reports from official institutions. The review identified physical factors (weather, traffic, vehicle speed, geometry, edges and debris on the road) and biological factors (fragmentation, proximity to water crossings, animal behavior) that affect the wildlife road killings, as well as the main species affected in the different regions of the country (mostly *Didelphis marsupialis*). The information available in the regions is very uneven, with notable deficiencies in the Orinoquian and the Amazonian regions. The regulations associated with the phenomenon of wildlife road killings in Colombia show recent progress supported by academic documentation that requires strong support from government entities to ensure the success of its application. Comparison with mitigation measures in other Latin American countries shows a hierarchy of measures such as wildlife crossings, perimeter fences, road signs, viaducts, restoration of habitats and protected areas, encompassed by citizen education processes. Although some of these measures are already in place in certain Colombian highways, there is a need for a more inclusive intervention, with a clear responsibility of road operators and users to have a real impact on the reduction of animal road collisions in the country.

Keywords: Animal road-killings, normativity, mitigation measures.

1. Introducción

Los proyectos de infraestructura vial tienen asociadas consecuencias medioambientales relevantes por la magnitud de los impactos derivados de las obras para la construcción de la infraestructura y la operación de las vías. Dichas consecuencias se pueden reflejar en componentes abióticos del ecosistema como la hidrología, la mecánica de los sedimentos, el transporte de escombros, la química del agua y del aire, el microclima, el ruido, el viento y la luz (Coffin, 2007; Jaeger, 2007). Por su parte, los efectos sobre los componentes bióticos se reflejan en las comunidades de fauna y flora y los procesos ecológicos de los ecosistemas (Coffin, 2007).

Como tal, los impactos generados por la infraestructura vial son la contaminación del aire y del agua, cambios en el clima, aumento en los niveles de ruido, erosión del suelo, cambios en la cobertura de vegetal, pérdida y fragmentación de hábitats, pérdida de conectividad ecológica, cambios ecológicos en las comunidades de plantas y animales, cambios en los patrones comportamentales de la fauna, pérdida de poblaciones silvestres de fauna y flora, atropellamiento de fauna y efecto de borde (Coffin, 2007; Jaeger, 2007; Chen & Koprowski, 2016; Cerqueira et al., 2021). Estos impactos son sinérgicos y muchos están derivados de otros, por ejemplo, la pérdida de conectividad ecológica lleva a cambios en los patrones de movimiento de las especies, lo que influye en las probabilidades de atropellamiento de individuos de fauna y puede resultar en la pérdida de poblaciones silvestres. Debido a esta estrecha relación entre los impactos, el estudio y evaluación del manejo ambiental de las vías es complejo y, por obligación, interdisciplinario.

La problemática ambiental derivada de la infraestructura vial es estudiada por la ecología de carreteras. Esta disciplina aborda los impactos de la infraestructura de transporte sobre el medio ambiente, sus componentes y sus procesos, buscando soluciones que integren la ingeniería, las ciencias y las políticas de planificación de uso del suelo (Coffin, 2007). Entre los temas centrales de que trata la ecología de carretera están los cambios en las rutas migratorias de los animales, el efecto barrero que restringe la actividad de la fauna silvestre, la interrupción del flujo genético, el deterioro y fragmentación de los hábitats naturales y el atropellamiento de fauna (Jaramillo-Fayad et al., 2019).

En las regiones tropicales, la ecología de carreteras es relativamente nueva, siendo Brasil pionero en su estudio con la creación del Centro de Estudios de Ecología de Carreteras (CBEE), de la Universidad Federal de Lavras. Otros países como Costa Rica también han desarrollado programas enfocados al estudio y manejo de impactos asociados a la carretera. De hecho, de acuerdo con la revisión realizada por Monge-Nájera (2018), Brasil, Costa Rica y Colombia son los países que mayor producción de estudios relacionados con la ecología de carreteras registran en Latinoamérica, específicamente, en el tema de atropellamiento de fauna silvestre.

En el caso específico de Colombia, el atropellamiento de fauna silvestre es un tema relativamente nuevo, lo que se refleja claramente en la poca información derivada de investigación científica o técnica disponible. Sin embargo, existen dos importantes iniciativas asociadas con el atropellamiento de fauna, que nacen en el sector académico en unión con la comunidad: el Programa de Ecología de las Carreteras e Infraestructura Verde- PECIV (Jaramillo-Fayad et al., 2019) y la Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada-RECOFSA, la cual se basa en reportes de casos de fauna atropellada realizados por los usuarios de la aplicación, lo que permite recopilar información valiosa sobre las muertes de fauna en las vías del país. Existe también una relevante publicación entre el Gobierno Nacional de Colombia y la Institución Universitaria ITM, el libro “Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto” (Jaramillo-Fayad et al., 2021) el cual es un punto de partida que permite conocer cómo está el país en el entendimiento y abordaje de la problemática y hacia dónde debemos dirigir nuestra atención para mitigar el impacto de la infraestructura vial, considerando los grandes proyectos viales que se están desarrollando en el territorio nacional.

Un ejemplo de estos proyectos son las vías de cuarta generación o Vías 4G, de las cuales se han construido un total de 357,42 km de vías primarias, repartidos en 126,7 km en calzada sencilla y 230,72 km en calzada doble (Ministerio de Transporte, 2021). Este aumento en la densidad vial nacional es altamente retador para la conservación de la biodiversidad de fauna, debido a que se observa una relación directamente proporcional entre el crecimiento de las vías y el número de colisiones entre vehículos y fauna silvestre, además de cifras que indican una alta mortalidad de fauna asociada con esta situación (Jaramillo-Fayad et al., 2019).

Incluso con el panorama descrito, la capacidad de respuesta que tenemos en Colombia ante las consecuencias ambientales derivadas de esta nueva infraestructura parece limitada pues son pocos los instrumentos de gestión y manejo de los impactos establecidos en el país (Jaramillo-Fayad et al., 2019; Stasiukyna et al., 2021). Teniendo esto en consideración, la necesidad de alimentar y fortalecer la información básica referente a la problemática del atropellamiento de fauna es evidente, pero no solo desde los reportes de los casos sino desde los diferentes aspectos que conforman el fenómeno (causas, consecuencias, patrones, soluciones). También, es significativo contrastar el panorama recopilado para Colombia con el que presentan otros países de la región, con el fin de evaluar la manera en que estos han afrontado el tema, las soluciones que han propuesto, sus experiencias y aprendizajes y determinar la viabilidad de su implementación en Colombia.

El presente trabajo discute el fenómeno del atropellamiento de fauna silvestre en Colombia a la luz de las investigaciones, los estudios técnicos y normativa más reciente publicada para el país. El trabajo también comprara el manejo actual de la problemática entre algunos países de Latinoamérica y Colombia.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Caracterizar el fenómeno del atropellamiento de fauna silvestre en Colombia a partir de las investigaciones académicas publicadas, la normatividad y las medidas de manejo.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar factores ecológicos y físicos que inciden en los atropellamientos de fauna silvestre en Colombia.
- Analizar en la normatividad colombiana la existencia de normas asociadas al manejo del impacto de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre.
- Revisar las medidas de mitigación implementadas actualmente en el territorio nacional para la disminución de los atropellamientos de fauna.
- Analizar estrategias de mitigación del impacto de la infraestructura vial en el atropellamiento de fauna silvestre implementadas en los países latinoamericanos y su posible aplicación en Colombia.

3. Metodología

La revisión se basó en tres tipos de documentos: artículos científicos, normativa vigente para Colombia y documentos de instituciones oficiales. Los artículos científicos fueron consultados en bases de datos bibliográficas disponibles en el sistema de bibliotecas de la Universidad de Antioquia tales como ScienceDirect, Dialnet, PlosOne, Redalyc y Scielo. También se realizaron búsquedas en el servidor Google Scholar. Para todas las consultas se consideraron criterios de búsqueda establecidos de acuerdo con palabras clave asociadas con el atropellamiento de fauna, causas, consecuencias y estrategias de mitigación. A continuación, se presentan los criterios considerados, en español e inglés, dependiendo del idioma establecido para la base de datos:

- (Fauna silvestre OR mamífero OR ave OR reptil OR anfibio) + (atropellamiento OR colisión OR muerte en carretera) + (Colombia)
- (Fragmentación de hábitat OR pérdida de hábitat OR disminución de hábitat) + (mitigación OR estrategia OR normativa OR legislación) + (Colombia)
- (Conectividad de hábitat OR Conectividad ecológica OR Restauración de hábitat) + (mitigación OR estrategia OR normativa OR legislación) + (Colombia)
- (Conectividad de hábitat OR Conectividad ecológica OR Restauración de hábitat) + (atropellamiento OR colisión OR muerte en carretera) + (mitigación OR estrategia OR normativa OR legislación) + (Latinoamérica OR Suramérica OR Región tropical)

Los resultados arrojados por las bases de datos fueron filtrados por año, considerando principalmente aquellas publicaciones realizadas a partir del año 2018. Después de filtrar las publicaciones, se seleccionaron y descargaron los artículos que fueran de especial interés para el tema de la monografía. Todos los artículos fueron clasificados en una de las siguientes categorías, de acuerdo con la temática central: atropellamiento, conservación, pasos de fauna, corredores ecológicos, Colombia, medidas de manejo.

Todos los artículos de investigación publicados para Colombia fueron incluidos en el material a revisar, independiente de su temática principal y su fecha de publicación. Entre las

publicaciones consideradas para Colombia, están todas aquellas referenciadas en el libro “Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto” (Jaramillo-Fayad et al., 2021) publicado por Gobierno Nacional de Colombia y la Institución Universitaria ITM, el cual también fue incluido en las publicaciones revisadas para el presente trabajo.

Para el análisis de la información, se diseñó una matriz bibliográfica en la cual se consignaron los siguientes aspectos de cada documento revisado: tema principal, título, año de publicación, país, resumen, objetivos, resultados, conclusiones y aspectos relevantes. Esta matriz permitió sintetizar la información e identificar aquellos aspectos más relevantes para la discusión del tema de investigación.

También se revisaron los instrumentos normativos del sector ambiente establecidos para Colombia, con el fin de identificar aquellas normas que regularan, directa o indirectamente, aspectos relacionados con el atropellamiento de fauna silvestre, ya fuera desde sus causas, consecuencias o estrategias de prevención y/o mitigación. Esta normativa fue consultada en portales gubernamentales como el gestor normativo de la función pública y las páginas web de corporaciones autónomas regionales como Corantioquia o Cornare. El tercer tipo de documentación revisada hace parte de aquella publicada por entidades gubernamentales como el Instituto Nacional de Vías - INVÍAS, y la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI y el Ministerio de Transporte, pues son estas las entidades directamente relacionadas con el tema de la infraestructura vial del país y desde las cuales se pueden estar generando iniciativas en pro del manejo del impacto de la malla vial sobre el medio ambiente. Con el fin de sintetizar la información se elaboraron tablas, figuras y diagramas que permiten visualizar la información de manera gráfica y resumida.

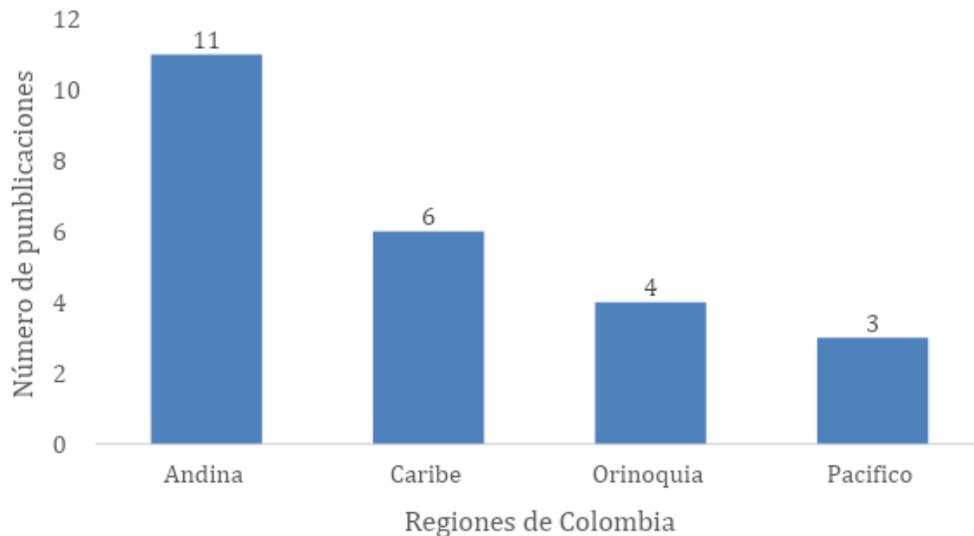
4. Resultados

En la última década se ha observado un creciente interés por la conservación de la fauna silvestre en el país, lo que ha visibilizado grandes problemáticas en la manera como nuestro modelo de desarrollo impacta la fauna. En este sentido, se han desarrollado algunas investigaciones académicas desde instituciones universitarias, se han propuesto elementos normativos en pro de proteger a la fauna y se han realizado publicaciones desde entidades gubernamentales con el objetivo de describir y abordar esta problemática. En los siguientes apartados se discutirá acerca de dónde se encuentra Colombia en cuanto al conflicto entre las vías terrestres y la fauna silvestre desde el conocimiento básico, el manejo, la prevención, mitigación, corrección y compensación, la normatividad y los avances en contraste con otros países de Latinoamérica.

4.1. Factores que inciden en el atropellamiento y sus principales afectaciones a la fauna silvestre en las regiones de Colombia

Las infraestructuras lineales (carreteras) son uno de los factores que afecta la supervivencia de la fauna silvestre a nivel mundial, ya que estas infraestructuras representan una barrera que impide el movimiento natural de algunas especies, incrementando la posibilidad de muertes por colisiones con vehículos (Bedoya-V et al., 2018). Debido a esto, existen algunos avances en el conocimiento sobre el atropellamiento en varias regiones del país, además del efecto que generan las carreteras en la biodiversidad. Sin embargo, hay pocos estudios en algunas zonas urbanas y sobre todo en estudios de ecología de carreteras (Santiago-Alarcón y Delgado-V, 2017).

De las cinco regiones del país, solo en cuatro de ellas podemos encontrar artículos de libre acceso sobre atropellamiento de fauna silvestre, comenzando por la región Andina donde se encuentran 11 artículos desde el año 2000 hasta 2019, seguida de la región Caribe con seis artículos desde el año 2010 hasta el 2018. La región Orinoquia solo posee cuatro artículos desde el año 2015 hasta el 2021 y la región Pacífica registra tres artículos desde el año 2006 hasta el 2012 (Figura 1).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. *Publicaciones sobre atropellamiento de fauna silvestre en las regiones de Colombia.*

En la Tabla 1 destacamos algunos factores biológicos y físicos que están potencialmente asociados con la problemática de atropellamientos de fauna silvestre en las vías del país.

4.1.1. Incidencia del atropellamiento en las regiones de Colombia

Región Andina

Al documentar los principales factores que potencializan el atropellamiento de fauna silvestre en las vías de Colombia, observamos que hay diferencias entre las regiones donde se realizaron los estudios, principalmente por el medio y el factor por el que ocurre el atropellamiento, afectando de manera diferente a los grupos taxonómicos. En el caso de la región Andina, en el departamento de Quindío, todos los trabajos realizados fueron con reptiles, a diferencia de Antioquia y Santander, por lo cual se evaluaron factores como el comportamiento de las especies por el proceso de termorregulación en las carreteras como lo menciona López-Herrera et al. (2016).

Tabla 1

Factores que inciden en el atropellamiento de fauna silvestre en Colombia

Medio	Factor de atropellamiento	Descripción	Zona de estudio	Grupo afectado	Bibliografía
Biológico	Fragmentación de zonas aledañas a la vía	Fragmentación y deterioro de los ecosistemas originales debido a la influencia directa de la urbanización y la creación de carreteras.	Antioquia	Mamíferos, aves, anfibios, reptiles.	Bedoya-V et al., 2018
	Cercanía a zonas verdes y cruces de agua	Zonas que poseen una densa vegetación arbórea y arbustiva, contiguas a los márgenes de las carreteras con diferentes coberturas vegetales donde se encuentran zonas verdes, parches de bosque y cruces de agua.	Antioquia; Cauca; Magdalena; Casanare	Mamíferos, aves, anfibios, reptiles.	Bedoya-V et al., 2018; Castillo-R et al., 2015; Adárraga-Caballero y Gutiérrez-Moreno, 2019; Rojano-Bolaño & Ávila-Avilán, 2021
	Comportamiento de especies	Es la respuesta de un organismo a una señal externa o interna, o una combinación de estas a un estímulo.	Antioquia; Bolívar; Cauca; Meta; Quindío; Santander; Sucre; Casanare	Mamíferos, reptiles, aves.	Bedoya-V et al., 2018; Monroy et al., 2015; Castillo-R et al., 2015; Rincon-Aranguri et al., 2019; López-Herrera et al., 2016; Meza-Joya et al., 2019; De La Ossa et al., 2015; Rojano-Bolaño & Ávila-Avilán, 2021.
	Época	Se describe como la época del año donde se presentan sequías			Adárraga-Caballero y Gutiérrez-Moreno, 2019;

	climática	o lluvias que inciden en los movimientos de especies de un lugar a otro por comida, refugio o apareamiento.	Magdalena; Bolívar; Cauca; Santander; Sucre	Mamíferos, aves, anfibios, reptiles.	Monroy et al., 2015; Castillo-R et al., 2015; Meza-Joya et al., 2019; De La Ossa et al., 2015.
	Tráfico vehicular	Cantidad de vehículos que circulan por una vía.	Antioquia; Santander; Sucre	Mamíferos, aves, anfibios, reptiles.	Bedoya-V et al., 2018; Meza-Joya et al., 2019; De La Ossa et al., 2015.
	Alta velocidad de vehículos	Alta velocidad de los vehículos en las carreteras colombianas que ocasionan atropellamiento de fauna.	Antioquia; Cauca; Santander	Mamíferos, aves, anfibios, reptiles.	Bedoya-V et al., 2018; Castillo-R et al., 2015; Meza-Joya et al., 2019.
Físico	Tamaño y forma de la vía	Zonas de mayor riesgo de atropellamiento de fauna según su forma o tamaño de la vía.	Antioquia; Santander; Casanare	Mamíferos, aves, anfibios, reptiles.	Bedoya-V et al., 2018; Meza-Joya et al., 2019. Arango-Lozano & Patiño-Siro, 2020; Rojano-Bolaño & Ávila-Avilán, 2021
	Efecto borde	Es el efecto que ocasiona el poco mantenimiento de las bermas favoreciendo el crecimiento de vegetación sobre la carretera y además sirviendo de refugio, de zona de alimentación y reproducción a las especies.	Bolívar; Valle del Cauca	Mamíferos, aves, anfibios, reptiles.	Monroy et al., 2015; Stasiukynas et al., 2021.

Residuos orgánicos en las vías	Se describen como los residuos arrojados a la carretera o dejados a las orillas que pueden servir como alimento de animales oportunistas o carroñeros.	Sucre	Mamíferos y aves.	De La Ossa et al., 2015.
--------------------------------	--	-------	-------------------	--------------------------

Fuente: Elaboración propia.

En Santander sólo se realizaron trabajos sobre atropellamiento en mamíferos y reptiles, pero enfocándose en la misma carretera y con la misma cantidad de kilómetros de vía, mostrando un alto número de atropellamientos de *Didelphis marsupialis* con 43 individuos registrados, al igual que de la *Iguana iguana* con 17 individuos, enfocando su estudio en el medio físico donde para explicar cómo el tamaño y la forma de la vía afectan a las especies silvestres (Meza-Joya et al., 2019; Ramos & Meza-Joya, 2018).

En Antioquia, de los seis estudios obtenidos, tres se enfocan en todos los grupos de vertebrados (Anfibios, reptiles, aves y mamíferos), dos sólo en mamíferos y uno en reptiles.

De los artículos con información de mamíferos y reptiles se puede indicar que *Didelphis marsupialis*, al igual que *Iguana iguana* son las especies más atropelladas en los sitios donde se realizaron los estudios, lo cual coincide con el estudio del departamento de Santander (Arango-Lozano & Patiño-Siro, 2020; Bedoya-V et al., 2018; Obando, 2022; Meza-Joya et al., 2019; Ramos & Meza-Joya, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, se podría inferir que las especies tanto de mamíferos como de reptiles más atropelladas en la región Andina son: *Didelphis marsupialis* e *Iguana iguana*, asumiendo los factores de atropellamiento como tamaño y forma de la vía, tráfico vehicular, época climática, comportamiento de especies, fragmentación de zonas aledañas a la vía, cercanía a zonas verdes y cruces de agua.

Región Caribe

En la región caribe se encontraron seis artículos, todos con información sobre cada grupo de vertebrados. Sin embargo, no todos tenían el mismo tiempo de muestreo por cada zona, por lo que algunos de los datos obtenidos variaron según las especies de los grupos atropellados, al igual que los factores que ocasionaron los accidentes.

En el departamento del Magdalena, la cercanía a zonas verdes y cruces de agua y la época climática son los factores principales identificados en el atropellamiento de fauna silvestre. el clima es un factor compartido con los departamentos de Bolívar y Sucre, observándose una similitud en los datos de atropellamiento de anfibios, siendo la especie *Rhinella marina* (Nombre

actual: *Rhinella horribilis*) la más atropellada en estas zonas (Gutiérrez-Moreno, 2019; Monroy et al., 2015; De La Ossa-V & Galván-Guevara, 2015; De La Ossa – Nadjjar & De La Ossa – V, 2013).

En los departamentos de Bolívar y Sucre, el comportamiento de especies, la época climática, el tráfico vehicular, el efecto borde y los residuos orgánicos en la vía, son los factores que inciden principalmente en el atropellamiento de fauna silvestre (De La Ossa et al., 2015; Monroy et al., 2015). Los datos en estos dos departamentos son muy similares en los grupos de mamíferos, reptiles y aves afectados, siendo la especie *Didelphis marsupialis* una de las más afectadas por estos factores, seguida de *Iguana iguana* y *Leptodeira annulata*. Otro grupo que se ve afectado por dichos factores es el de las aves carroñeras, siendo las especies *Cathartes aura* y *Coragyps atratus* las aves más atropelladas en la zona (Monroy et al., 2015; De La Ossa-V & Galván-Guevara, 2015; De La Ossa – Nadjjar & De La Ossa – V, 2013).

Región Orinoquía

Dentro de la región del Orinoco solo se encontraron cuatro artículos sobre atropellamiento de fauna silvestre, tres en el departamento del Meta y uno en el Casanare. En estos se expone que las principales causas del atropellamiento en dicha zona son el comportamiento de las especies, la cercanía a zonas verdes y cruces de agua, además del tamaño y forma de la vía, afectando en su mayoría a mamíferos y reptiles.

Los trabajos realizados en el departamento del Meta manifiestan que el grupo con mayor número de colisiones es el de los mamíferos y dentro de este grupo lidera el género *Didelphis*, seguido por los reptiles con individuos del género *Chironius* y la especie *Caiman crocodilus*. Para el grupo de anfibios y aves, el número de atropellamientos fue menor, afectando en mayor proporción a las especies del género *Rhinella* en anfibios y *Megascops* en aves (Rincon-Aranguri et al., 2015; Astwood et al., 2018; Duran-Galindo, 2018).

En el caso del departamento del Casanare, el mayor número de atropellamiento se reflejan en los reptiles, siendo el *Caiman crocodilus* el más afectado. En el caso de los mamíferos, las especies *Tamandua tetradactyla* y *Cerdocyon thous* fueron las más atropelladas. Otras especies afectadas fueron las aves *Columbina minuta* y *Coragyps atratus* y el anfibio *Rhinella marina*.

Los departamentos de Casanare y Meta evidencian una similitud en los atropellamientos de fauna silvestre y en especial de reptiles, con la especie *Caiman crocodilus*, registrada con mayor número de colisiones en los trabajos de la zona, debido a sus hábitos alimenticios y sus movimientos constantes en las zonas inundables (Rojano-Bolaño & Ávila-Avilán, 2021).

Región Pacífica

En esta región, sólo encontramos tres artículos que describen a las especies más afectadas por colisiones en algunas rutas del Pacífico colombiano. Dos de los artículos en el Valle del Cauca y uno en el Cauca, resaltando principalmente factores como la cercanía a zonas verdes y cruces de agua, comportamiento de las especies, época climática, la alta velocidad de los vehículos y el efecto borde.

En el departamento del Valle del Cauca se encontraron dos estudios sobre atropellamiento de fauna silvestre que resaltan mamíferos y anfibios con las mismas especies afectadas. En mamíferos, la especie más afectada es *Didelphis marsupialis* debido a diferentes factores de su habituación, seguida de los anfibios como *Rhinella marina*. Cabe mencionar que especies de aves como *Coragyps atratus* y *Chlorophanes spiza*, además de reptiles como *Clelia clelia* y *Sibon nebulatus*, son afectadas igualmente en esta zona, pero en menor proporción (Vargas - Salinas et al., 2011; Stasiukynas et al., 2021).

En el Cauca solo encontramos un artículo sobre atropellamientos en fauna silvestre y este nos revela datos bastante altos de las colisiones en un lapso de cinco meses, con 288 atropellamientos del anfibio *Rhinella marina*, seguido de 223 atropellamientos del mamífero *Didelphis marsupialis*, 19 atropellamientos del ave *Coragyps atratus*, y 17 atropellamientos del reptil *Oxybelis aeneus* (Castillo-R et al., 2015).

La consolidación de toda la información de atropellamientos, obtenida de los artículos revisados, revela que las especies más afectadas por atropellamientos son: el mamífero marsupial *Didelphis marsupialis*, el ave *Coragyps atratus* y la rana *Rhinella marina*. Estos datos se pueden corroborar en el informe de los animales atropellados de Colombia realizado por el Instituto Alexander von Humboldt en el 2017 (Instituto Alexander von Humboldt, 2017).

4.2. Estado actual de la normatividad asociada al fenómeno del atropellamiento de fauna silvestre en Colombia.

Los instrumentos legales son fundamentales para el manejo y control de las situaciones que impactan de manera negativa los recursos naturales del país. En la legislación colombiana se han establecido leyes y resoluciones que, desde diferentes enfoques, incorporan a la fauna silvestre dentro de sus disposiciones. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan aquellas normas que establecen disposiciones relevantes para el tema de investigación. Si bien, en la normativa colombiana se encuentran otras disposiciones relacionadas con la fauna, en la tabla se destacan solo aquellas leyes que tienen una relación directa o indirecta con el tema específico del atropellamiento de fauna silvestre.

Tabla 2 . Normatividad Colombiana relacionada con la regulación del recurso fauna silvestre.

Norma	Objeto	Relación con el atropellamiento de fauna silvestre
Decreto Ley 2811 de 1974	Por medio del cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	Las disposiciones de esta norma representan el primer abordaje a la conservación de la diversidad de fauna del país, sin embargo, sigue siendo incipiente y superficial. En este punto, no se considerada el impacto de las vías sobre la fauna, a pesar de tener para la época un aumento en la densidad vial derivada del interés de generar interconexión regional (Pérez V., 2005).
Ley 17 de 1981	Por la cual se aprueba la "Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres - CITES"	Este es uno de los acuerdos internacionales más relevantes para el componente fauna. La participación de Colombia lo obliga a tomar medidas de protección para evitar la afectación de las poblaciones de fauna debido al tráfico ilegal. Si bien, esta norma no se relaciona directamente con el atropellamiento de fauna silvestre, la firma por parte de Colombia fortalece su compromiso con la preservación de este recurso.
Ley 84 de 1989	Por la cual promulga el Estatuto Nacional de Protección de los Animales	La importancia de esta norma radica que determina de manera más precisa situaciones que se consideran maltrato o trato cruel hacia la fauna. Además, entre los objetivos planteados en esta ley está “Desarrollar medidas efectivas para la preservación de la fauna silvestre”, lo cual es aplicable al atropellamiento de fauna,

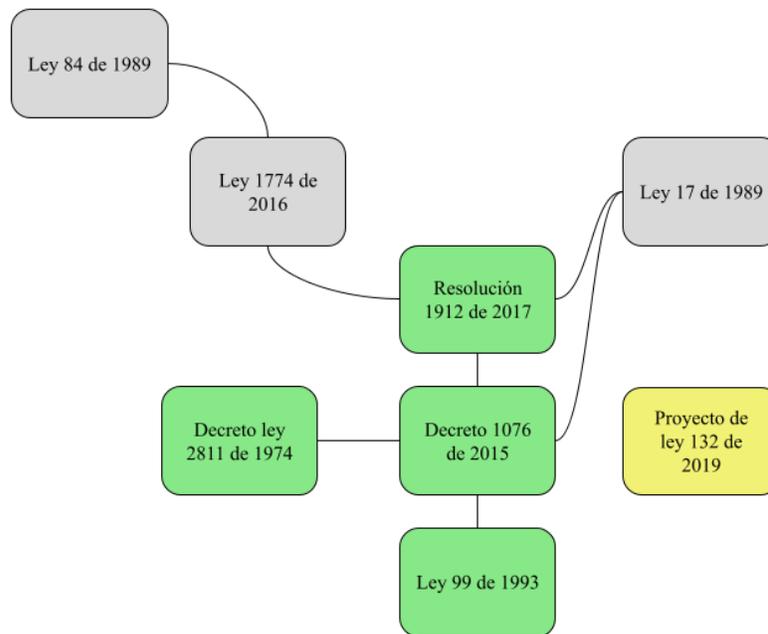
Norma	Objeto	Relación con el atropellamiento de fauna silvestre
		<p>por ser eventos que perjudican a los animales y que deben ser regulados y mitigados para garantizar la preservación de estos. También, en la norma, queda explícito que una de las situaciones calificadas como crueles es “Lastimar o arrollar un animal intencionalmente o matarlo por simple perversidad”, lo que directamente estipula el atropellamiento de fauna como una actividad que va en contra del bienestar y conservación de los animales, sin embargo, no se ahonda en las sanciones que tendrá arrollar un animal, por lo cual queda meramente descriptivo.</p>
<p>Ley 99 de 1993</p>	<p>Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.</p>	<p>Si bien, en esta Ley no se especifica sobre ningún componente de la diversidad biológica en particular, es de gran importancia para el tema ambiental en el país, pues estructura completamente el sistema ambiental en Colombia y crea entidades enfocadas en el manejo, control, regulación, administración y conservación de los recursos naturales del territorio colombiano.</p>
<p>Resolución 584 de 2002 Resolución 0192 de 2014 Resolución 1912 de 2017</p>	<p>En la cuales se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional</p>	<p>Las listas de especies amenazadas de Colombia son una herramienta fundamental para gestionar los recursos naturales, ya que permiten enfocar esfuerzos y proponer actividades direccionadas a la conservación de las especies más vulnerables. En el contexto del atropellamiento de fauna, estas listas establecen aquellas especies que deben ser consideradas con mayor atención al analizar los atropellamientos, pues estos eventos pueden derivar en graves consecuencias sobre las poblaciones silvestres, aumentando la posibilidad de extinciones locales y amenazas serias sobre la permanencia de las especies.</p>

Norma	Objeto	Relación con el atropellamiento de fauna silvestre
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Este decreto recopila todas las disposiciones nacionales para el sector ambiente entre las cuales están aquellas que regulan el recurso fauna silvestre. Directamente no establece obligaciones asociadas al manejo de fauna en proyectos viales, pero si regula, en términos generales, todas las actividades que pueden tener incidencia sobre la conservación y supervivencia de las poblaciones de fauna como lo es el atropellamiento.
Ley 1774 de 2016	Por medio de la cual se modifican el código civil, la Ley 84 de 1989, el código penal, el código de procedimiento penal y se dictan otras disposiciones	En esta norma se establece como delito causar cualquier tipo de daño a los animales, sean este doméstico o silvestres lo que se relaciona directamente con la muerte o lesiones causadas a los animales por atropellamiento.
Proyecto de Ley 132 de 2019	Por medio de la cual se establecen los pasos de fauna como una estrategia para implementar acciones en las vías terrestres para la prevención y mitigación de atropellamiento a la fauna en una determinada vía, se previenen y mitigan los riesgos contra ellas y se dictan otras disposiciones	Si bien esta norma no está aprobada, este es el primer instrumento normativo propuesto en Colombia que aborda de manera directa el manejo del atropellamiento de fauna silvestre. En este se proponen las medidas de manejo que deben ser incluidas en cualquier proyecto u obra vial para prevenir, mitigar y compensar el impacto de estas sobre la fauna.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando la interrelación que existe en el marco legal, en la Figura 2 se establecen las relaciones entre las normas que regulan el recurso fauna en el país y que están directa o indirectamente relacionadas con la problemática del atropellamiento de fauna. El Decreto 1076 de 2015 representa la norma central y de principal relevancia para el tema, pues establece todo el marco legal de regulación para el aprovechamiento y conservación de la fauna analizado desde diferentes escenarios, incluido el de proyectos de infraestructura (no lo hace específicamente para

los proyectos de infraestructura vial), sin desconocer la fuerte relación que guarda este con el Decreto Ley 2811 de 1974, que fue el que estableció el punto de partida para la gestión del recurso en el país.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. *Relación entre las normas colombianas relacionadas con el recurso fauna y consideradas en este documento. En verde se resaltan aquellas normas con especial relevancia para el tema de investigación abordado en este trabajo, en gris aquellas que, indirectamente, se asocian al tema abordado y, en amarillo aquellas normas que aún no han sido oficializadas.*

Por su parte, la Resolución 1912 de 2017 representa todas aquellas resoluciones asociadas con las listas de especies amenazadas para Colombia que han sido publicadas hasta la fecha y que representan una herramienta de gestión y priorización para las especies de fauna. Las leyes 84 de 1989, 17 de 1989 y 1774 de 2016 regulan temas relevantes para la conservación de la fauna silvestre de manera muy específica. El proyecto de Ley 132 de 2019 a pesar de no estar aprobado, se incluye porque representa la primera norma que estaría enfocada de manera específica en regular los impactos asociados a la infraestructura vial y a los atropellamientos de fauna como tal. Por último,

la Ley 99 de 1993 se asocia con las normas más relevantes (en verde) porque estas surgen gracias al ordenamiento del Sistema Nacional Ambiental derivado de la expedición de esta Ley.

Al analizar la tabla anterior, observamos que en la normatividad actual colombiana no se cuenta con un instrumento que regule de manera directa el atropellamiento de fauna silvestre. Sin embargo, en el año 2019 se presentó el proyecto de Ley 132 de la Cámara “por medio de la cual se establecen los pasos de fauna como una estrategia para implementar acciones en las vías terrestres para la prevención y mitigación de atropellamiento a la fauna en una determinada vía, se previenen y mitigan los riesgos contra ellas y se dictan otras disposiciones”. Actualmente, este proyecto no ha surtido todos los pasos necesarios para quedar en firme. Si bien esta es una iniciativa relevante para la conservación de la biodiversidad del país, no ha sido muy exitosa en el Congreso de la República, pues ya había sido presentada como proyecto de ley en los años 2016 y 2017 y aún no ha sido aprobada, lo que genera dudas del interés que el tema despierta en los congresistas y del compromiso real que tienen con los temas ambientales.

En cuanto a su contenido, el proyecto de ley tiene planteamientos concretos para afrontar el problema de la muerte de fauna silvestre en las vías nacionales. Es relevante resaltar que su construcción estuvo acompañada de instituciones académicas y grupos de investigación, lo que da sustento teórico a lo que plantea y aumenta la credibilidad en lo propuesto. Instituciones participantes como el ITM, cuentan con una amplia experiencia en el estudio de la problemática y las soluciones posibles (Jaramillo-Fayad et al., 2019; Uribe Bedoya, 2019; Gonzales-Vélez, 2021). El aporte que estos entes académicos brindaron al planteamiento del proyecto de ley permite que esté se centre en la realidad colombiana, basado en evidencia recopilada a lo largo de los años en trabajos académicos y reportes comunitarios, que se propongan objetivos alcanzables, que el proyecto de ley se enfoque en los aspectos importantes y que se propongan soluciones adaptadas al contexto del país. El trabajo interdisciplinario es fundamental para generar leyes específicas como esta, porque ese conocimiento técnico que tienen los actores académicos viabiliza y hace objetivas las decisiones legales.

La efectividad de las medidas de manejo se ve favorecida cuando se integran varias estrategias complementarias (Bager & Fontoura, 2013; Plante et al., 2019; Laidlaw et al., 2021) esta visión constituye uno de los aspectos destacables del texto, pues desde la justificación del

proyecto se identifica esta posibilidad y se destacan sus ventajas. Además, se pone en evidencia la existencia de diversas medidas de manejo sin limitarse a los pasos de fauna que suelen ser la medida predilecta al momento de proponer y ejecutar acciones de manejo. También, separa la instalación de estas estructuras de las demás obligaciones ambientales derivadas de las obras, aclarando que los pasos de fauna son una nueva consideración dentro de los proyectos, más no una opción para obviar las demás obligaciones.

La instalación o no de un paso de fauna en determinado sitio debe responder a una serie de estudios que demuestren la conveniencia y la efectividad real que tendrá esa infraestructura en ese sitio en particular (Ciocheti et al., 2017; Cerqueira et al., 2021). Esta consideración fue adecuadamente incorporada en el proyecto de ley, al establecer la obligación de incluir los estudios necesarios para identificar la necesidad de pasos de fauna o estructuras que cumplan la función. Para fortalecer este aspecto, el proyecto de ley también determina los aspectos a considerar para la realización de dicho estudio, de manera que los resultados arrojados por este permitan identificar y seleccionar las estrategias de mitigación y medidas de manejo más apropiadas para el hábitat afectado.

Ahora bien, el proyecto de ley tiene algunos aspectos que se deben fortalecer o que no son desarrollados a profundidad en el texto, lo que genera dudas de cómo serán abordados dentro de los proyectos. El primer aspecto está relacionado con que el proyecto de ley como tal, impone la instalación de estructuras tipo paso de fauna solo para proyectos de infraestructura vial intervenidos por la ejecución de trabajos de construcción, mantenimiento y/o mejoramiento, sin embargo, se sabe que proyectos de otros tipos, como aquellos de distribución de electricidad, marítimos, de vías férreas o constructivos, pueden impactar de diferentes modos el hábitat de las especies favoreciendo la pérdida de conectividad o exponiendo a las especies y obligándolas a cruzar por las vías. La ampliación de los tipos de proyectos permitiría abarcar y mitigar un amplio rango de impactos asociados a las diferentes obras de infraestructura.

El segundo aspecto es la inversión monetaria necesaria para la construcción de los pasos ya que no son estructuras económicas y requieren mantenimiento periódico para garantizar su vida útil y monitoreo que permita evaluar su utilidad y efectividad. Si bien muchas de las responsabilidades económicas recaen sobre las Concesiones viales que construyen los proyectos,

otras están dirigidas a las autoridades ambientales, lo que significa que estas tengan que destinar parte de sus presupuestos a estas actividades, tal vez desprotegiendo otras actividades que desarrolla la entidad. En este sentido, desde el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible se tiene que acompañar a las autoridades ambientales, principalmente aquellas con menos presupuesto disponible, en las actividades de planeación o en destinación de mayores recursos para garantizar que puedan cumplir con las obligaciones establecidas en la ley sin descuidar sus obligaciones actuales.

En el proyecto de ley propone llevar un inventario de la infraestructura que se instale en el país, sin embargo, este inventario tendría una periodicidad trimestral, tiempo que puede ser muy limitado, considerando el tiempo efectivo que tiene la construcción de una vía y que los cronogramas de los proyectos consideran diferentes momentos para la implementación de las obligaciones ambientales. Es probable que al realizar estos monitoreos trimestrales no se den actualizaciones entre uno y otro, esto podría verse como un mal uso del tiempo de las entidades ambientales, además de un detrimento del recurso público. Este tiempo podría ampliarse a una periodicidad semestral, buscando que se encuentren cambios reales en el número de estructuras instaladas; en las visitas de inventario también se deben incluir inspecciones del estado de la infraestructura. Lamentablemente, no hay estudios que indiquen la periodicidad adecuada para evaluar la infraestructura, esto se convierte en un reto para Colombia pues debe determinar, a partir de su propia experiencia, cómo gestionará su infraestructura.

Otra herramienta que se tiene en Colombia, que puede ser vista como un instrumento de gestión de los impactos de las vías sobre la fauna, es el libro “Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto” (Jaramillo-Fayad et al. 2021). Este libro publicado en colaboración entre el Gobierno Nacional y la institución Universitaria ITM, da una mirada general al tema de atropellamiento de fauna en Colombia, basado en los estudios publicados hasta la fecha y la experiencia adquirida, tanto por la institución educativa como por los Ministerios de Transporte y de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. En el libro también se hacen algunas recomendaciones de medidas de manejo que podrían ser implementadas para mitigar los impactos. Los autores del libro son directos al concluir que en Colombia aún faltan

herramientas que gestionen los impactos de las vías sobre la fauna y que consideren las cuatro acciones básicas de manejo ambiental: prevenir, corregir, mitigar y compensar.

Si bien el libro está dado en términos muy generales, representa un gran logro en el abordaje de la problemática ya que establece una línea base que sirve como punto de partida para las diferentes instituciones relacionadas con el tema, ya sea desde la gestión o la investigación. Recoge gran porcentaje de los estudios, investigaciones, experiencias, lineamientos y puestas en práctica generados en Colombia. Propone además una metodología estandarizada para la evaluación del atropellamiento de fauna en las vías, considerando características particulares de la vía a evaluar y recopila una serie de medidas que pueden ser aplicadas en el marco de los proyectos para prevenir y mitigar los impactos ocasionados por el mismo.

El libro no se traduce en imposiciones a los proyectos, obras o actividades, pero si visibiliza un problema del que gran parte de la sociedad es consciente, pero que ha estado sucediendo sin control y sin la atención suficiente de los entes regulatorios. Que el desarrollo de este libro haya estado acompañado por instancias gubernamentales refleja un cierto interés y al menos permite concluir que las personas que encabezan el sector ambiente en el país saben de la existencia del problema, de las posibilidades que existen para manejarlo, de las instituciones que han estudiado el tema y tal vez, todo este conocimiento se traduzca en normas en firme y mayor control sobre los proyectos que generan los impactos ambientales relacionados, directa o indirectamente, con el atropellamiento de fauna silvestre. También abre oportunidades de investigación para ampliar el conocimiento y las implicaciones de la ecología de carreteras en el país.

Sumado a estas herramientas, Colombia tiene algunas disposiciones emitidas por autoridades en diferentes áreas que se relacionan de algún modo con medidas y estrategias de manejo del impacto de las vías sobre la biodiversidad. En la Guía de Manejo Ambiental para proyectos de Infraestructura: Subsector Vial (2011) del Instituto Nacional de Vías y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se determinan los planes de manejo ambiental que deben ser integrados y adaptados a los proyectos de infraestructura vial no sujetos a licenciamiento ambiental. En la ficha para el manejo de fauna silvestre se establece la construcción de pasos de fauna de acuerdo con las particularidades del sitio a intervenir y las especies a proteger, diferenciando entre los posibles pasos a instalar. Sin embargo, al ser una guía no es de carácter

obligatorio para los proyectos viales, que pueden adaptar el contenido de acuerdo con las necesidades y particularidades de sus proyectos. Por otro lado, el documento se queda corto en alcance pues es muy general, destacando solo la opción de los pasos de fauna, pero sin profundizar en aspectos específicos para el tipo de proyectos de infraestructura vial. Aun así, sigue siendo relevante que desde hace más de una década se reconocen los pasos de fauna como una estrategia de mitigación, a pesar de que su implementación no sea tan extendida en el país.

Por otro lado, desde el Ministerio de Transporte se publicó el Manual de señalización vial: dispositivos uniformes para la regulación de tránsito en las vías de Colombia (Ministerio de Transporte, 2015), en el cual se incluye la señal de "Animales en la vía" dentro del grupo de señales preventivas que, de acuerdo con la descripción del manual, "son aquellas que tienen como propósito advertir a los usuarios de la vía la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal. Estas señales ayudan a que los conductores tomen las precauciones del caso, ya sea reduciendo la velocidad o realizando maniobras necesarias..." (Ministerio de Transporte, 2015). Lo que directamente expone que los conductores deben estar atentos a la vía cuando exista esta señal para evitar colisionar con la fauna. En el manual se establece que la señal debe ser ubicada de acuerdo con el tipo de animal sobre el cual se desea advertir, es decir, silvestre, doméstico o ganado. Lo importante de esta publicación es que, sin ser su propósito original, establece la implementación de una medida de manejo para el atropellamiento de fauna en el país, ya que las señales de tránsito son reconocidas internacionalmente como una medida de prevención de los atropellos de animales silvestres en la vía (Álvarez, & Baulies, 2006; Jaramillo-Fayad et al., 2020).

La última publicación identificada como herramienta de gestión es el libro Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible, WWF-Colombia., 2020) en el cual se aborda la relevancia de contemplar, desde las etapas de planeación de los proyectos de infraestructura vial, alternativas constructivas que permitan desarrollar proyectos que generen menor impacto ambiental. En esta propuesta se incorporan los diferentes instrumentos de ordenamiento territorial, de evaluación de impactos, de delimitación y exclusión de áreas de interés ecológico con el fin de armonizar componentes fundamentales para la planeación de proyectos en

pro de cumplir el objetivo de la infraestructura verde vial, el cual es promover proyectos viales que identifiquen e integren en todas sus etapas alternativas ambientales, tecnológicas y de ingeniería que permitan prevenir, evitar, mitigar y compensar los efectos negativos de las vías en el ambiente. La incorporación de este concepto en los proyectos en Colombia permitiría construir vías más enfocadas a la conservación, pero sin afectar su ejecución. Para la fauna este tipo de infraestructura se traduce en mayor conectividad ecológica, estructuras más amigables y diseñadas con el fin de armonizar la infraestructura y el hábitat para evitar impactos negativos sobre las poblaciones y especies. Este documento, plantea entonces una de las soluciones que pueden implementarse para manejar el impacto causado por las vías que es diseñar proyectos más pensados e integrados con el medio ambiente. No obstante, el documento representa unos lineamientos que, si bien son completos y estructurados, no se establecen como obligación para los proyectos de infraestructura, sino como una serie de pasos que podrían incorporarse en estos. La libertad en la adopción de los lineamientos es compleja, pues no se puede asegurar que vayan a ser tenidos en cuenta ya que significan mayores inversiones económicas, en tiempo, en personal técnico y operativo, lo que previene a las empresas ejecutoras de proyectos y, probablemente las lleve a decidir omitir estos lineamientos y continuar con el desarrollo de sus proyectos de la manera tradicional.

Después de realizar esta revisión, se concluye que en Colombia efectivamente existen herramientas normativas y técnicas que abordan el fenómeno del atropellamiento de fauna silvestre, pero que estas son insuficientes, ya que no representan ninguna obligación para los ejecutores y operadores de proyectos viales. Se necesita mayor contundencia legal y vigilancia por parte de los entes de control para garantizar la aplicación de estrategias de manejo que aporten a disminuir y controlar los atropellamientos de fauna en las vías del país. Sin esta contundencia el problema seguirá existiendo y aumentando, cobijado por la indiferencia de las entidades gubernamentales y de control colombianas.

4.3. El atropellamiento de fauna en Latinoamérica: ¿qué puede aprender Colombia de las experiencias de los países vecinos?

En Latinoamérica se identifican marcadas diferencias entre los países que han abordado la problemática del atropellamiento de fauna silvestre, ya sea desde su estudio y comprensión hasta

estrategias de manejo. Al comparar entre países, Brasil registra mayor número de investigaciones, seguido por Argentina y Colombia (Monge-Nájera, 2018; Pinto et al., 2021; Silva et al., 2021). Gran parte de estos estudios se han enfocado en el tema específico de la mortalidad, relacionado con composición de especies, patrones espaciales y temporales y, en menor medida, se han abordado las medidas de mitigación (Pinto et al., 2021).

Aunque el tópico de medidas de mitigación represente el menor porcentaje en las investigaciones publicadas en Latinoamérica, se deben recoger y analizar las experiencias y las acciones emprendidas en los países vecinos, ya que contienen valiosos conocimientos que pueden ser evaluados en el contexto colombiano e implementados como parte de las estrategias para evitar, corregir, mitigar y compensar el impacto que tiene la infraestructura vial sobre la fauna silvestre y la conservación de la biodiversidad. En este sentido, en esta sección se revisarán las principales estrategias y medidas de manejo que han sido implementadas en los países latinoamericanos con el fin de evaluar su viabilidad en Colombia.

4.3.1. Pasos de fauna

Los pasos de fauna son estructuras que se construyen o se adaptan para permitir el paso de los individuos de fauna silvestre entre dos parches de hábitat atravesados por una vía, sin necesidad de que se muevan sobre esta, evitando así el atropellamiento por parte de los vehículos (Smith et al., 2015). Esta es quizá la estrategia más usada a nivel mundial para manejar el fenómeno del atropellamiento de fauna, pues es bastante versátil y puede acomodarse a las necesidades específicas del sitio en el cual se desee instalar (Ghent, 2018). Los pasos de fauna pueden ser concebidos de manera aérea, como puentes sobre la vía o estructuras que unen el dosel de los árboles; pasos subterráneos como túneles o infraestructura como acueductos, que se adaptan para que los animales la usen para moverse (Álvarez & Baulies, 2006).

Para Latinoamérica se conoce su implementación en México (González-Gallina et al., 2018), Brasil (Bager & Fontoura, 2013; Texeira et al., 2013; Ciocheti et al., 2017; de Paula Gomes et al., 2019), Costa Rica (Laidlaw et al., 2021; Flatt et al., 2022), Argentina (Baechli et al., 2021) y Perú (Balbuena et al., 2019). Cabe aclarar que estos reportes se basan en la información publicada en artículos científicos, por lo cual, es posible que no se reflejen la totalidad de los países

Latinoamericanos que han implementado los pasos de fauna de manera interna y sin difusión, lo que impide reportarlos en este documento. En casos como México, Brasil y Costa Rica, la implementación de los pasos de fauna se ha complementado con otras estrategias como vallados y restauración y conservación del hábitat. Además de acompañar la implementación con monitoreos y evaluaciones de su efectividad. Estas acciones son fundamentales, ya que las diferentes medidas se complementan entre ellas y favorecen la reducción de los atropellamientos (Smith et al., 2015; Ghent, 2018). Además, la importancia de monitorear y evaluar las estrategias implementadas es necesario para garantizar que realmente tienen un efecto sobre el impacto que se está tratando de manejar.

En Colombia, la construcción e instalación de pasos de fauna se ha dado, principalmente, por parte de las concesiones viales, a partir de la entrada en ejecución de los proyectos asociados a las Vías 4G. De acuerdo con información de la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI, se han construido 152 pasos de fauna, entre túneles y pasos arborícolas, en los proyectos Cartagena-Barranquilla - Circunvalar de la Prosperidad, Honda-Puerto Salgar-Girardot, Antioquia-Bolívar, Transversal de las Américas, Villavicencio-Yopal, Santa Marta-Riohacha-Paraguachón, Ruta Caribe, Bogotá-Villeta, Malla vial del Valle del Cauca y Cauca, Neiva-Girardot, Ruta del Sol 3 y Transversal del Sisga. (Oficina asesora de comunicaciones-Agencia Nacional de Infraestructura, 2020). Por su parte, la concesión Túnel de Oriente ha instalado 11 pasos de fauna, siete arborícolas y cuatro a desnivel, en una importante y concurrida vía del departamento de Antioquia, que comunica al Valle de Aburrá con el Valle de San Nicolás, dos grandes centros económicos y de desarrollo (Concesión Túnel Aburrá Oriente, 2021).

Si bien, se tiene registro de los pasos de fauna instalados, no se tiene información que permita saber si su implementación estuvo respaldada por estudios previos, que indicarán la mejor ubicación para las estructuras de acuerdo con las especies presentes en las áreas a conectar. Una gran debilidad identificada para la estrategia de pasos de fauna en Colombia es que desde las publicaciones científicas no se registran estudios que evalúen la efectividad de las estructuras existentes, por lo tanto, no es claro si en realidad han favorecido la conservación y la protección de la fauna. Aun así, es de gran importancia que en el país se estén tomando medidas de prevención y mitigación del impacto de estos proyectos pues es el primer paso para solucionar el problema y, a

largo plazo, serán acciones más comunes en el desarrollo de los proyectos, lo que sin duda favorece a la conservación de la fauna impactada.

4.3.2. Vallado perimetral

El vallado perimetral consiste en el cerramiento o cercado del hábitat adyacente a la vía impidiendo que la fauna se mueva de manera indiscriminada hacia esta (Álvarez & Baulies, 2006; Jaramillo-Fayad et al., 2021). El vallado es una estrategia complementaria que debe ser usada junto con los pasos de fauna, ya que el fin último de esta medida es direccionar a los animales hacia el paso seguro, disminuyendo la probabilidad de atropellamiento (Ghent, 2018; Plante et al., 2019). Los vallados perimetrales han demostrado ser una medida altamente efectiva para evitar los atropellamientos y han sido ampliamente implementados a nivel mundial (Álvarez & Baulies, 2006; Plante et al., 2019; Jaramillo-Fayad et al., 2021). Brasil ha sido pionero en su uso para Latinoamérica, encontrando que es una medida con resultados positivos para la disminución de los atropellamientos (Bager & Fontoura, 2013; Cioncheti et al., 2017) e incluso, que su implementación es aún más económica que hacer frente a los daños materiales ocasionados por las colisiones entre fauna silvestre y vehículos (Ascensão et al., 2021).

La principal desventaja de esta medida está asociada con la longitud, pues si el vallado no tiene la longitud adecuada se genera el efecto de fin de valla en el cual, se observa una mayor tasa de atropellamientos hacia los extremos del vallado, debido a que los animales buscan estos extremos para cruzar la vía (Plante et al., 2019). Por otro lado, la instalación de los vallados puede ser costosa, ya que los materiales y longitud varían dependiendo de las especies foco de la medida y el mantenimiento de la estructura debe realizarse de manera periódica para garantizar su utilidad en el tiempo.

En las consultas realizadas, no se encontraron evidencias de la implementación de esta medida en Colombia. Sin embargo, debería ser tenida en cuenta dados los beneficios que se han asociado a su uso en conjunto con los pasos de fauna, que se presentan como la medida más implementada en el país. En lo que se refiere a su viabilidad, esta es una estrategia altamente viable para el país, pues no supone grandes cambios sobre la infraestructura vial existente, ya que puede ser implementada en cualquier momento, incluso cuando la infraestructura vial ya está construida

y operando, siempre y cuando se tenga en cuenta que su implementación es posterior a la realización de estudios técnicos que permitan definir los puntos más convenientes para cercar y las especies foco de la medida. Por otro lado, se debe definir la entidad encargada de la instalación y mantenimiento de la estructura, pues esta deberá asumir los costos asociados a las diferentes etapas de implementación de la medida. Además de establecer cómo se va a integrar a los propietarios cuyos predios hagan parte del área a cercar. Como en todas las medidas, se deben realizar los estudios técnicos necesarios, que involucren las diferentes áreas de conocimiento: tecnologías, ingenierías y ciencias naturales, para que sean estos estudios y diseños los que indiquen cómo implementar la medida, de manera que se reduzcan los riesgos para la fauna asociados al efecto de fin de valla o a la altura de esta.

4.3.3. Señalización vial

La señalización vial consiste en la instalación de señales que indican la presencia de fauna en las vías, con el fin de alertar a los conductores y que estos disminuyan su velocidad para evitar colisionar con un animal (Huijser et al., 2015). El uso de señalización en las vías es una de las medidas más implementadas y recomendadas para reforzar la efectividad de los pasos de fauna (Álvarez & Baulies, 2006; Huijser et al., 2015; Jaramillo-Fayad et al., 2021) es posible que la razón de su extendido uso sea porque son más baratas en comparación de estructuras de pasos de fauna como tal (Seburn & McCurdy-Adams., 2019). No obstante, se ha cuestionado su efectividad real en múltiples ocasiones, pues no parecen tener una influencia real sobre la disminución de los atropellamientos (Meza & Cardona, 2019; Seburn & McCurdy-Adams., 2019). Por este motivo, se han propuesto complementos que mejoren la efectividad de la medida, por ejemplo, el uso de señales electrónicas que se activen de acuerdo con diferentes parámetros, por ejemplo, la presencia de fauna detectada por medio de sensores o cuando se excede el límite de velocidad permitido, alertando a los conductores por medio de señales lumínicas que deben disminuir su velocidad (Jaramillo-Fayad et al., 2021) o la instalación de reductores de velocidad antes de la señal, que obliguen a los conductores a reducir la velocidad de su marcha.

A lo largo de las vías de Colombia es común observar señales de este tipo, siendo una medida ampliamente recomendada en las investigaciones en el campo de la ecología de carreteras

que se han desarrollado en el país (Delgado-V, 2007; Delgado-Vélez, 2014). Incluso algunos de las investigaciones han tenido como objetivo evaluar la efectividad de las señales en las tasas de atropellamientos (Castillo-R. et al., 2015; De La Ossa-Nadjar & De La Ossa, 2015; Bedoya et al, 2018). Algunos investigadores también han sugerido la aplicación de esta medida junto con otros dispositivos como reductores de velocidad o señales luminosas para aumentar su efectividad considerando que la señal por si sola pueden llegar a ser ignoradas por los conductores (Rincón-Aranguri et al., 2015; Jaramillo-Fayad et al., 2021).

4.3.4. Viaductos

Un viaducto es una estructura vial tipo puente, que va sostenida sobre grandes cimentaciones ancladas al suelo y que permiten la movilidad en terrenos abruptos como valles o áreas montañosas (Jaramillo-Fayad et al., 2021). Estas estructuras tienen una gran ventaja sobre las vías en terraplén y es que su afectación sobre los ecosistemas es mucho más baja pues, para su construcción, no es necesario talar grandes zonas boscosas y acondicionar el suelo cambiando sus propiedades fisicoquímicas. Por su naturaleza constructiva, los viaductos evitan la fragmentación de hábitats, permitiendo la continuidad de las coberturas vegetales lo que favorece directamente a las comunidades de fauna aledañas a la infraestructura. Esta opción de construcción para las vías es tan ventajosa para la fauna que, Álvarez & Baulies, (2006), afirman que estas estructuras facilitan el paso de fauna de todo tipo de vertebrados y conservan el hábitat de invertebrados, pues permiten una completa conexión de los hábitats a ambos lados de las vías. A pesar de su notoria ventaja y aporte a la reducción de los atropellamientos de fauna silvestre, no se documenta su implementación como medida de prevención de los atropellamientos en Latinoamérica.

Si bien, los viaductos se han construido en países andinos de la región como Ecuador o Perú, no se reporta que su construcción haya respondido a una estrategia relacionada con el manejo de los impactos de las vías. En Colombia también se tienen diferentes proyectos viales construidos bajo la modalidad de viaducto: El Tigre, Pericos, Uribe-Ye de Granada, La Novena (Silva Carreño & Asociados SAS, 2021) o el Viaducto Cesar Gaviria Trujillo, por nombrar algunos. También, en el marco de las vías 4G, con corte a 2021, se reporta la construcción de 71,81 Km de vías tipo viaducto, además de la futura construcción de un viaducto en la zona portuaria del Urabá

(Ministerio de Transporte, 2021). En el caso colombiano la preferencia de este tipo de estructuras también ha respondido más a temas de ingeniería que a cuestiones medio ambientales. Aun así, se resalta la función que, probablemente, están cumpliendo estos viaductos en cuanto a la conservación de la fauna y se sugiere realizar monitoreos de atropellamientos de fauna silvestre en estas estructuras, con el fin de evaluar su efectividad y aporte al manejo del problema en las áreas donde se construyen. Este puede ser un tema de investigación abordado desde la academia colombiana que sería pionero en el área de la ecología de carreteras y favorecería la formación de investigadores para la disciplina en el país.

4.3.5. Restauración de hábitat

A nivel mundial se ha generado gran alerta por la pérdida de los bosques, principalmente en ecosistemas tropicales de Suramérica y África (Romijn et al., 2019). Una de las grandes preocupaciones asociadas a la pérdida de los bosques tropicales es el papel que estos ecosistemas juegan en la eliminación del CO₂ atmosférico, reduciendo la concentración de gases de efecto invernadero y aportando al control del cambio climático (Paiva et al., 2018; Anaya et al., 2020). Por tal motivo, a nivel mundial, se vienen promoviendo iniciativas de restauración de tipo gubernamental, muy de la mano de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, encaminadas a restaurar los hábitats degradados, con el propósito de que estos recuperen las condiciones previas a la perturbación y, por ende, aquellas funciones, procesos ecológicos y estructura de la comunidad biótica (Romijn et al., 2019).

Entre las causas relacionadas con la pérdida de los bosques están los proyectos de infraestructura vial ya que, al tratarse de proyectos lineales, a lo largo de su recorrido se pueden intervenir diferentes ecosistemas y, por lo general, para establecer la vía es necesario realizar la intervención de extensas áreas de bosques haciendo que los proyectos viales favorezcan la reducción y pérdida de hábitat para las especies de flora y fauna (Kang et al., 2016).

Las estrategias de restauración de hábitat asociadas a compensar los impactos derivados de los proyectos viales se han dirigido hacia el establecimiento de corredores ecológicos o biológicos, los cuales son espacios físicos que permiten el flujo de individuos, estructuras reproductivas o procesos ecológicos entre parches de hábitat (Koen et al., 2014; de Oliveira-Junior et al., 2020;

Beita et al., 2021). Para Latinoamérica, la creación de estos corredores se ha documentado solamente para Costa Rica y Brasil (de Paula Gomes et al., 2019; Schank et al., 2020; Beita et al., 2021) obteniendo resultados positivos en cuanto a la conservación de la fauna. Sin embargo, Beita et al., (2021) encontraron también que el tamaño de los corredores establecidos en Costa Rica parece insuficiente para proteger a las especies de mamíferos grandes, lo que demuestra las dificultades que tienen las estrategias de corredores ecológicos para la recuperación del hábitat de las especies y el movimiento libre de estas en el paisaje fragmentado, especialmente para aquellas con requerimientos de grandes extensiones de hábitat para suplir sus requerimientos ecológicos.

En Colombia solo se reporta la investigación realizada por López-Herrera et al., (2016) relacionada con la influencia de los corredores ecológicos sobre el atropellamiento de fauna silvestre. Los autores encontraron que los corredores biológicos en la reserva Barbas-Bremen favorecen la presencia de especies de reptiles que, por sus necesidades de hábitat, probablemente no podrían ocurrir si no existiera la reserva. Además, que estas especies presentan menor tasa de atropellamiento que aquellas asociadas a las coberturas vegetales más intervenidas. Si bien falta información y mayor número de estudios sobre el tema, que permitan obtener conclusiones acerca del papel de los corredores biológicos, si es posible determinar que la mejora en las condiciones del hábitat favorece la diversidad de especies y que, tal vez, al tener hábitats con mejor disponibilidad de recursos, las especies no se ven obligadas a moverse entre parches a través de las vías. Este estudio demuestra, además, que en Colombia sí es posible establecer corredores biológicos funcionales, lo que hace que esta estrategia poco implementada a nivel suramericano sea viable para el país.

Por otro lado, más que una estrategia, la restauración de hábitat y establecimiento de corredores ecológicos debe verse como una obligación para las entidades que regulan los recursos naturales del país, ya que es una deuda que tenemos con el ambiente y la biodiversidad que han sido y son afectados a causa de las actividades humanas.

4.3.6. Declaración de áreas protegidas y conservación del hábitat

Estudios enfocados en evaluar los efectos de la infraestructura vial sobre el hábitat de las especies han encontrado que el establecimiento de vías favorece la fragmentación del hábitat, la

presencia de asentamientos humanos, la tala ilegal, la conversión del bosque en cultivos agrícolas, incrementa la deforestación y la cacería, además de alterar los patrones de distribución de las especies (Baker & Leberg, 2018; Espinosa et al., 2018; Paiva et al., 2018; Pinto et al., 2021).

Una de las posibles soluciones a esta situación es declarar áreas protegidas para conservar el hábitat de las especies. Como tal, la declaración de áreas protegidas no se reconoce como una medida de manejo de los impactos de los proyectos viales sobre la fauna silvestre, sin embargo, diferentes autores sugieren que la creación de áreas protegidas y declaración de territorios indígenas es una estrategia efectiva para contener la deforestación, la fragmentación del paisaje y conservar la biodiversidad (Hora et al., 2018; Paiva et al., 2018; Bonilla-Mejía & Higuera-Mendieta, 2019; Beita et al., 2021) lo que amortigua las afectaciones derivadas de los proyectos de infraestructura en general.

De acuerdo con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas – SINAP, en Colombia se registran 1.458 áreas protegidas en el RUNAP (Registro Único Nacional de Áreas Protegidas), que abarcan 31'469.319,25 hectáreas, lo que equivale a aproximadamente el 15,19% del territorio nacional (Parque Nacionales Naturales de Colombia, 2021). A pesar de esto, las altas tasas de deforestación en el país son una gran amenaza para las áreas protegidas. Investigaciones realizadas para Colombia han evidenciado que a lo largo de los años se está perdiendo cobertura de bosque debido a actividades relacionadas con la ganadería y la minería ilegal en regiones estratégicas como el Pacífico y el Amazonas (Anaya et al., 2020) intensificadas, además, por el nuevo acceso a zonas antes ocupadas por los grupos armados y liberadas luego de la firma del Acuerdo de Paz con el Gobierno Nacional (Clerici et al., 2020). Este preocupante panorama refleja problemas como una falta de institucionalidad en las zonas rurales del país donde están ubicadas, en mayor porcentaje, las áreas protegidas.

Bonilla-Mejía & Higuera-Mendieta, (2019), en un estudio pionero, analizaron la relación entre las instituciones locales y la efectividad de las áreas protegidas en Colombia, encontrando que las áreas protegidas funcionan cerca de asentamientos humanos de municipios que brindan más bienes públicos y son menos violentos, pero en zonas alejadas, las áreas protegidas son vulnerables a actividades perjudiciales que llevan a la deforestación, como la minería ilegal. En contraste, los resguardos indígenas y las tierras afrocolombianas reducen los cultivos de coca y

evitan la deforestación. A partir de estos resultados los autores proponen interesantes planteamientos que vale la pena tomar en consideración para reducir las amenazas sobre las áreas protegidas. De acuerdo con los autores, es necesario fortalecer la presencia estatal y brindar mayor apoyo a los gobiernos locales para hacer cumplir las leyes en áreas remotas; aumentar la participación de las comunidades indígenas y afrocolombianas en la toma de decisiones y creación de políticas ambientales que afectan su territorio y abordar con mayor urgencia la minería ilegal en áreas protegidas.

Como ya se mencionó, la declaración de áreas protegidas es una medida que favorece la conservación del hábitat de las especies y podría también, evitar los problemas de atropellamiento de fauna asociados con los proyectos de infraestructura vial, siempre y cuando se prohíba que estos últimos se construyan en inmediaciones de las áreas protegidas. Sin embargo, sin el desarrollo de políticas y controles efectivos por parte de las autoridades locales, regionales y nacionales, las áreas protegidas quedan altamente vulnerables al deterioro y la intervención humana, perdiendo sus vitales funciones ambientales y ecológicas.

4.3.7. Educación

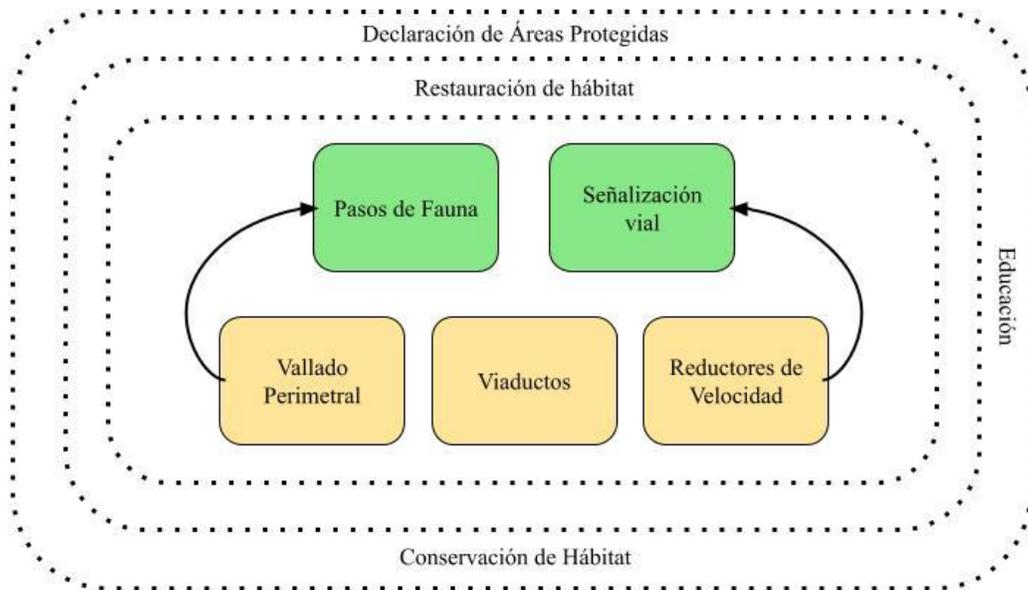
La educación es una poderosa herramienta de transformación social y como tal ha sido integrada en las políticas internacionales, representadas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Organización de las Naciones Unidas, 2022). En las estrategias de conservación, se incluye la educación ambiental como un medio de generación de conciencia en la sociedad, buscando que las personas seamos más responsables al momento de consumir, de tomar decisiones y que reflexionemos sobre el impacto que nuestras acciones tienen sobre el medio ambiente.

En Colombia, desde la educación básica y media se incorporan programas de educación ambiental en cumplimiento de disposiciones legales establecidas en la Constitución Política, al igual que en las universidades donde los planteles también implementan políticas de cuidado ambiental. Sin embargo, la comunidad en general no cuenta con estas herramientas por lo cual está menos familiarizada con las funciones ambientales y la importancia que tiene para la sociedad la conservación de los recursos naturales (Heno Hueso & Sánchez Arce, 2019; Burgos et al., 2020).

En este sentido, la educación ambiental debe ser universal y debe llegar a esa población que en su cotidianidad tiene menos interacción con los temas ambientales.

Para el caso de los proyectos de infraestructura vial, la educación cobra especial sentido teniendo en cuenta los múltiples actores, académicos, políticos y de la sociedad civil involucrados en el planteamiento, estudio y uso de la infraestructura establecida. Una constante sensibilización y socialización de los proyectos, los impactos y medidas de manejo, además del especial énfasis que se debe hacer en la importancia de la fauna para el equilibrio ambiental y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, puede favorecer la protección de la fauna, haciendo a la educación ambiental una herramienta de manejo del problema, que debe ser integrada a cualquier otra alternativa que se implemente para fortalecer su efectividad.

Luego de analizar las medidas de manejo que se implementan para abordar la problemática del atropellamiento de fauna silvestre en Latinoamérica, se puede establecer una relación de jerarquía, la cual se ilustra en la Figura 3. Como se observa en el diagrama, medidas como viaductos, pasos de fauna y señalización son estrategias de acción directa sobre el impacto y, en el caso de los pasos de fauna y la señalización vial, se debe complementar con medidas adicionales para aumentar su efectividad. Sin embargo, por si solas están permitiendo que la fauna se mueva de manera segura entre fragmentos, lo cual no tiene un impacto real sobre el hábitat perdido por la infraestructura vial. Es por esto que estrategias a nivel de hábitat, como la restauración, recogen las medidas anteriores y favorecen el manejo del atropellamiento de fauna al garantizar la recuperación del hábitat de las especies. A su vez, la restauración está embebida en las estrategias de conservación del hábitat y declaración de áreas protegidas que son las medidas por excelencia para garantizar que este hábitat restaurado perdure en el tiempo y las funciones ecológicas del mismo se recuperen. De esta manera se le brindaría a la fauna un hábitat de calidad, regulando e incluso reduciendo la vulnerabilidad al atropellamiento al evitar el cruce de los animales por las vías para movilizarse entre fragmentos de hábitat. Finalmente, la educación debe estar inmersa en todos los niveles de manejo, pues los actores involucrados directa o indirectamente con la problemática de fauna silvestre deben contar con herramientas y conocimientos del tema para decidir a conciencia, basados en información real del impacto que sus acciones generan sobre el ambiente y cómo pueden aportar a la solución y manejo de estos impactos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Relación de jerarquía existente entre las estrategias de manejo del atropellamiento de fauna silvestre identificadas.

5. Perspectivas y retos para Colombia

Tal vez una de las frases que más grabada tenemos en nuestra identidad nacional es “Colombia es un país megadiverso”, lo cual es motivo de orgullo para la mayor parte de los colombianos, además es una frase que se repite en los discursos políticos en el ámbito nacional e internacional. Sin embargo, internamente no actuamos en relación con este orgullo y generamos grandes impactos sobre toda esta riqueza natural. En el presente documento solamente abordamos uno de los muchos problemas ambientales generados por la actividad humana, sin embargo, es uno de los problemas menos estudiados y que hace apenas una década se está abriendo campo en el país.

Afortunadamente, se han originado y visibilizado iniciativas de investigación y de comunicación del atropellamiento de fauna en las vías del país, que han llamado la atención de diferentes sectores de la sociedad y se han encendido las alarmas de por qué permitimos que esto pase y cómo podemos afrontar el problema para evitar o reducir las muertes de animales silvestre debido a colisiones con vehículos.

Gracias a las investigaciones realizadas por diferentes instituciones en el país, se han establecido los factores principales que ocasionan el atropellamiento de fauna silvestre en algunos grupos de animales, además de visualizar las especies más afectadas en algunas regiones. Esta información es vital, ya que permite proponer medidas de mitigación específicas para los grupos más afectados, con el fin de reducir considerablemente su atropellamiento. Por esta razón, es importante el apoyo gubernamental a las instituciones para que sigan trabajando en la ecología de carreteras, documentando y aplicando las medidas correctivas para prevenir el atropellamiento en las vías más importantes del país y en todas las regiones.

Uno de los grandes desafíos que tiene Colombia para lograr un control real de la situación es el establecimiento de normas y leyes que regulen los proyectos que generan el impacto y obliguen a establecer estrategias de prevención y medidas de manejo enfocadas en la protección de la fauna y a la educación de los ejecutores de proyectos, conductores y comunidad en general. Esto implica que se debe despertar el interés de los dirigentes que toman las decisiones en el país, para generar entendimiento y asimilación de la magnitud del problema, además de generar medios de control que garanticen el cumplimiento de las normas y sanciones.

Para lograr lo anterior se necesita tener conocimiento básico de la ecología de las especies de fauna, de los hábitats, de las interacciones entre estos y del estado actual de los ecosistemas del país que sean la base para determinar la gestión adecuada del problema. Esto se logra a través de instituciones académicas fortalecidas y con presupuesto suficiente para formar investigadores y desarrollar estudios en el territorio nacional que generen conocimiento extrapolable al campo de la construcción y mejoramiento de la gestión ambiental de los proyectos viales.

6. Conclusiones

En Colombia se evidencia un interés creciente en la problemática del atropellamiento de fauna silvestre. Este interés se refleja desde la academia en la conformación de grupos de investigación que plantean estudios directamente asociados a la ecología de carreteras aplicada al contexto colombiano; desde los entes gubernamentales en el trabajo conjunto con estos grupos de investigación para establecer criterios que ubiquen y describan la problemática en el país; desde la sociedad civil con su participación en las estrategias de ciencia ciudadana y sus manifestaciones en las redes sociales rechazando la situación y exigiendo soluciones tangibles y desde la norma con el planteamiento de leyes que buscan evitar, corregir y compensar el impacto de las obras o actividades que derivan en atropellamiento de fauna silvestre.

En las regiones del país hay poca información sobre el atropellamiento de fauna silvestre. Por ejemplo, en la región amazónica no se encuentra ningún artículo relacionado con dichos estudios. Sin embargo, los artículos publicados en las regiones Pacífica, Orinoquia, Caribe y Andina muestran el panorama sobre el atropellamiento en Colombia. Dichos artículos resaltan factores biológicos y físicos que pueden incidir en el atropellamiento, como el efecto borde y el comportamiento de las especies, entre otros. Estos factores han ocasionado un fuerte impacto en los grupos de mamíferos, reptiles, aves y anfibios del país, como la *Didelphis marsupialis* que es el animal que más registra atropellamientos en Colombia. Estos estudios contribuyen a la búsqueda de opciones para mitigar dichas afectaciones a la fauna silvestre.

A nivel nacional, no se han expedido normas específicas que regulen el impacto de las vías en la fauna silvestre, específicamente, en el atropellamiento de esta. La importancia de que existan normas directas que regulen las actividades u obras que se asocian con el atropellamiento de fauna silvestre radica en la visibilidad del problema y la asociación con una acción indebida que debe ser manejada y corregida. Establecer la obligación a las concesiones u entidades que desarrollen obras viales de tomar medidas preventivas y correctivas en sus proyectos seguramente tendrá una alta repercusión sobre las tasas de atropellamiento y la conservación de la fauna, ya que compromete a uno de los principales actores a responsabilizarse de sus impactos.

Las medidas de manejo que se proyecten implementar en cualquier sitio deben estar soportadas en estudios previos que permitan determinar la medida más apropiada y el lugar más

adecuado para la ubicación de esta dependiendo de la fauna objetivo; además, siempre se debe considerar la necesidad de complementar la medida de manejo seleccionada con otras para aumentar su efectividad.

Los monitoreos posteriores a la implementación de una medida de manejo son esenciales para evaluar su efectividad en el manejo de los atropellamientos de la fauna y sus resultados deben documentarse y considerarse en las mejoras proyectadas para los planes de manejo y estrategias de prevención y mitigación de los atropellamientos de la fauna silvestre de las vías en el país.

Si bien los atropellamientos de fauna silvestre reflejan características de los ecosistemas y de la fauna de cada país, las similitudes entre los países latinoamericanos permiten comparar las medidas de manejo implementadas y evaluar su aplicación para Colombia. La ventaja de esta aproximación es que permite identificar casos de éxito y oportunidades de mejora que sean integradas al momento de implementarse una medida de manejo en el contexto del país.

Las diferentes estrategias de manejo para la prevención y mitigación de los atropellamientos de fauna deben integrarse con medidas adicionales para aumentar su efectividad, pues las debilidades de una medida se compensan con la otra. Además, siempre se deben implementar las estrategias de restauración y conservación de hábitat, ya que estas son fundamentales para garantizar parches de hábitat de tamaño adecuado para que las especies lleven a cabo sus ciclos de vida.

Referencias

- Adárraga-Caballero, M. A. & Gutiérrez-Moreno, L. C. (2019). Mortalidad de vertebrados silvestres en la carretera Troncal del Caribe, Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 20(1), 106-119. doi: 10.21068/c2019.v20n01a07.
- Álvarez, G., & Baulies, X. (2006). *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causados por infraestructuras de transporte*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Anaya, J. A., Gutiérrez-Vélez, V. H., Pacheco-Pascagaza, A. M., Palomino-Ángel, S., Han, N., & Balzter, H. (2020). Drivers of forest loss in a megadiverse hotspot on the pacific Coast of Colombia. *Remote Sensing*, 12(8), 1235.
- Arango-Lozano. J. & Patiño-Siro. D. (2020). Does the geometrical design of roads influence wildlife roadkills? evidence from a highway in central andes of Colombia. *European Journal of Ecology*, 6.1.
- Ascensão, F., Yogui, D. R., Alves, M. H., Alves, A. C., Abra, F., & Desbiez, A. L. (2021). Preventing wildlife roadkill can offset mitigation investments in short-medium term. *Biological Conservation*, 253, 108902.
- Astwood, J.A., Reyes, M.C., Rincón, M.T., Pachón, J., Eslava, P.R., Parra, C.A. (2018). Mortalidad de reptiles en carreteras del piedemonte de los llanos orientales colombianos. *Caldasia* 40(2):321-334. <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.67578>.
- Baechli, J., Albanesi, S., & Bellis, L. M. (2021). Effectiveness of crossings as wildlife passages for mammals in the Yungas of Argentina. *Journal for Nature Conservation*, 59, 125944.
- Bager, A., & Fontoura, V. (2013). Evaluation of the effectiveness of a wildlife roadkill mitigation system in wetland habitat. *Ecological Engineering*, 53, 31-38.
- Baker AD, & Leberg PL (2018) Impacts of human recreation on carnivores in protected areas. *PLoS ONE* 13(4): e0195436. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195436>
- Balbuena, D., Alonso, A., Panta, M., Garcia, A., & Gregory, T. (2019). Mitigating Tropical Forest Fragmentation with Natural and Semi-Artificial Canopy Bridges. *Diversity*, 11(4), <http://dx.doi.org/10.3390/d11040066>
- Bedoya-V. M., Arias-Alzate. A., Delgado-V. C. (2018). Atropellamientos de fauna silvestre en la red vial urbana de cinco ciudades del Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia). *Caldasia* 40(2):335-348.
- Beita, C. M., Murillo, L. F. S., & Alvarado, L. D. A. (2021). Ecological corridors in Costa Rica: An evaluation applying landscape structure, fragmentation-connectivity process, and climate adaptation. *Conservation Science and Practice*, e475. <https://doi.org/10.1111/sp2.475>.

-
- Bonilla-Mejía, L., & Higuera-Mendieta, I. (2019). Protected areas under weak institutions: Evidence from Colombia. *World Development*, *122*, 585-596.
- Burgos-Ayala, A., Jiménez-Aceituno, A., & Rozas-Vásquez, D. (2020). Integrating ecosystem services in nature conservation for Colombia. *Environmental management*, *66*(2), 149-161.
- Castillo-R., J. C., Urmendez-M., D., & Zambrano-G., G. (2015). Mortalidad de fauna por atropello vehicular en un sector de la vía Panamericana entre Popayán y Patía. Boletín Científico. Centro de Museos. *Museo de Historia Natural*, *19*(2), 207-219.
- Cerqueira, R.C., de Rivera, O.R., Jaeger, J.A.G. & Grilo, C. (2021). Direct and indirect effects of roads on space use by jaguars in Brazil. *Scientific Reports* *11*, 22617. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01936-6>
- Chen, H. L., & Koprowski, J. L. (2016). Barrier effects of roads on an endangered forest obligate: influences of traffic, road edges, and gaps. *Biological Conservation*, *199*: 33–40. doi:10.1016/j.biocon.2016.03.017
- Ciocheti, G., de Assis, J. C., Ribeiro, J. W., & Ribeiro, M. C. (2017). Highway widening and underpass effects on vertebrate road mortality. *Biotropica*, *49*(6), 765-769.
- Clerici, N., Armenteras, D., Kareiva, P., Botero, R., Ramírez-Delgado, J. P., Forero-Medina, G., ... & Biggs, D. (2020). Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods. *Scientific reports*, *10*(1), 1-10.
- Coffin AW. (2007). From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography*, *15* (5): 396-406.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (1981) Ley 17 de 1981. Por la cual se aprueba la "Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres", suscrita en Washington, D.C. el 3 de marzo de 1973.
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (1989) Ley 84 de 1989. Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia
- Colombia. Congreso de la República de Colombia (1993) Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
- Colombia. Ministerio del Medio Ambiente (2006) Resolución 584 de 2002. Por la cual se declaran las especies silvestres que se encuentran amenazadas en el territorio nacional y se adoptan otras disposiciones. Diario Oficial 44.859.
- Colombia. Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014) Resolución 0192 de 2014. Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad

-
- biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 49.072
- Colombia. Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017) Resolución 1912 de 2017. Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana continental y marino-costera que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 50.364
- Colombia. Presidencia de la República de Colombia. (1974). Decreto 2811 de 1974 Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- Colombia. Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 1076 de 2015. Por el cual se dicta el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
- Concesión Túnel Aburrá Oriente (10 de mayo 2021) Pasos de fauna: un gran paso en la protección de biodiversidad. <https://tunelorientecolombia.com/pasos-de-fauna-un-gran-paso-en-la-proteccion-de-biodiversidad/>
- Delgado-V, C. A. (2007). Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 29(87), 235-239.
- Delgado-Vélez, C. A. (2014). Adiciones al atropellamiento vehicular de mamíferos en la vía de El Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Revista EIA*, 11(22), 147-153.
- De La Ossa-Nadjar, O., & De La Ossa, V. J. (2013). Fauna silvestre atropellada en dos vías principales que rodean los montes de María, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Animales*, 5(1), 158-164.
- De La Ossa-Nadjar, O., & De La Ossa, V. J. (2015). Fauna silvestre atropellada en dos vías principales que rodean los montes de María, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Animales*, 5(1), 158-164.
- de Paula Gomes, L., Caixeta, F. F., Rocha, R., Lima, P., de Sousa, A. C. P., França, R. M., & da Silva, L. L. (2019). Fauna run-over mitigation measures on brazilian federal highway concessions. *Heringeriana* 13(1): 10 – 20.
- de Oliveira-Junior, N. D., Heringer, G., Bueno, M. L., Pontara, V., & Meira-Neto, J. A. A. (2020). Prioritizing landscape connectivity of a tropical forest biodiversity hotspot in global change scenario. *Forest Ecology and Management* 472, 118247.
- Duran - Galindo, I. (2018). Atropellamiento vial de fauna silvestre en la carretera entre los municipios de Villavicencio-Barranca de Upía (Meta), Colombia. [Tesis de pregrado, Universidad de los Llanos]
- Espinosa S, Celis G, & Branch LC (2018) When roads appear jaguars decline: Increased access to an Amazonian wilderness area reduces potential for jaguar conservation. *PLoS ONE* 13(1): e0189740. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189740>

-
- Flatt, E., Basto, A., Pinto, C., Ortiz, J., Navarro, K., Reed, N., ... & Whitworth, A. (2022). Arboreal wildlife bridges in the tropical rainforest of Costa Rica's Osa Peninsula. *Folia Primatologica*, 1(aop), 1-17.
- Ghent, C. (2018). Mitigating the effects of transport infrastructure development on ecosystems. *Consilience*, (19), 58-68.
- González-Gallina, A, Hidalgo-Mihart, MG, & Castelazo-Calva, V (2018) Conservation implications for jaguars and other neotropical mammals using highway underpasses. *PLoS ONE* 13(11): e0206614. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206614>
- González-Vélez, J. C. (2021). *Predicción de puntos calientes de atropellamiento de fauna con base en algoritmos de inteligencia artificial, sistemas de información geográfica y procesamiento de imágenes multiespectrales*. Tesis. Facultad de ingeniería. Instituto Tecnológico Metropolitano
- Heno Hueso, O., & Sánchez Arce, L. (2019). La educación ambiental en Colombia, utopía o realidad. *Revista Conrado*, 15(67), 213-219. Recuperado de <http://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado>
- Hora, B., Marchant, C., & Borsdorf, A. (2018). Private Protected Areas in Latin America: Between conservation, sustainability goals and economic interests. A review. *Journal on Protected Mountain Areas Research and Management* 10, 87-94.
- Huijser, M.P., C. Mosler-Berger, M. Olsson, & M. Strein. (2015). Wildlife warning signs and animal detection systems aimed at reducing wildlife-vehicle collisions. Pages 198–212 In *Handbook of Road Ecology*. Edited by R. van der Ree, D.J. Smith, and C. Grilo. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch24>
- Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt [Instituto Alexander Von Humboldt]. (2017). Los animales atropellados de Colombia. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2017/cap2/206/>
- Jaeger, J. A. (2007). Effects of the configuration of road networks on landscape connectivity. <https://escholarship.org/uc/item/10d5q9nj>.
- Jaramillo-Fayad, J.C., González Manosalva, J.L, Ríos Barberi, J., González Vélez, J.C & Velásquez, M.M (2019) Ecología de carreteras e infraestructura verde. *TEC Social*, 5, ISSN 2462-7747
- Jaramillo-Fayad, J.C., Velásquez, M.M., Premauer, J.M., González, J.L., & González Vélez, J.C. (2021). *Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto*. Gobierno Nacional de Colombia – Institución Universitaria ITM.
- Kang, W., Minor, E.S., Woo, D., Lee, D. & Park, C-R. (2016) Forest mammal roadkills as related to habitat connectivity in protected areas. *Biodiversity Conservation*. DOI 10.1007/s10531-016-1194-7

-
- Koen, E.L., Bowman, J., Sadowski, C & Walpole, A. (2014) Landscape connectivity for wildlife: development and validation of multispecies linkage maps. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 626–633. doi: 10.1111/2041-210X.12197
- Laidlaw, K., Broadbent, E., & Eby, S. (2021). Effectiveness of aerial wildlife crossings: Do wildlife use rope bridges more than hazardous structures to cross roads?. *Revista de Biología Tropical*, 69(3), 1138-1148. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i3.47098>
- López-Herrera, D.F., León-Yusti, M., Guevara-Molina, S.C., y Vargas-Salinas, F. (2016). Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, Quindío, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(156), 484-493. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.334>
- Meza, F., Ramos, E., y Cardona, D. (2019). Spatio-temporal patterns of mammal road mortality in middle Magdalena Valley, Colombia. *Oecologia Australis*, 23(3). doi: <https://doi.org/10.4257/oeco.2019.2303.15>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible, WWF-Colombia. (2020). *Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia*. https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/infraestructura_verde_b23_c9_safe_oct2020.pdf
- Ministerio de Transporte (2015) *Manual de señalización vial: dispositivos uniformes para la regulación de tránsito en las vías de Colombia*. Ministerio de Transporte, Colombia.
- Ministerio de Transporte (2021) *Informe de rendición de cuentas - Sector Transporte 2020 - 2021: Transporte para Transformar vidas*. Gobierno de Colombia.
- Monge-Nájera, J. (2018) Road kills in tropical ecosystems: a review with recommendations for mitigation and for new research. *Biología Tropical*, 66, (2): 722-738
- Oficina Asesora de Comunicaciones – Agencia Nacional de Infraestructura (03 de julio de 2020) Los pasos de fauna, vitales para salvaguardar la vida de más de seis mil animales en vías nacionales <https://www.ani.gov.co/los-pasos-de-fauna-vitales-para-salvaguardar-la-vida-de-mas-de-seis-mil-animales-en-vias-nacionales>
- Organización de las Naciones Unidas- ONU (2022) Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>
- Ossa Gómez, C. A., Montaña Barrantes, C., Beltrán Piñeros, D. A., Rodríguez, D. C., Villazón Escobar, D., Amaya Cruz, F., y Rueda Castañeda, V. (2011). *Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura subsector vial*. (2 ed.). Instituto Nacional de Vías y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ramos, E. & Meza-Joya, F. (2018). Reptile road mortality in a fragmented landscape of the middle Magdalena Valley, Colombia. *Herpetology Notes 11*: 81-91.

-
- Rincón-Aranguri, M.T., Reyes, M.C., Pachón-García, J., Eslava-Mocha, P.R., Astwood-Romero, J.A., & Parra-Sandoval, C.A. (2015) *Atropellamiento de Fauna en la red vial del Departamento del Meta, una amenaza real. Primer diagnóstico*. Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo la Macarena-CORMACARENA-Universidad de los Llanos. Villavicencio-Meta, Colombia, 44 pág.
- Rincon-Aranguri. M., Urbina-Cardona. N., Galeano. P., Bock. B., Paez. V. (2019). Road Kill of Snakes on a Highway in an Orinoco Ecosystem: Landscape Factors and Species Traits Related to Their Mortality. *Tropical Conservation Science Volume 12*: 1–18.
- Rojano-Bolaño. C., & Ávila-Avilán. R. (2021). Mortalidad de vertebrados silvestres por atropellamiento en el departamento de Casanare, Colombia. *Revista de Medicina Veterinaria* 42. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss42.4>.
- Rojas López, M. D., & Ramírez Muriel, A. F. (2018). Inversión en infraestructura vial y su impacto en el crecimiento económico Aproximación de análisis al caso infraestructura en Colombia (1993-2014) *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, 17 (32): 109-128
- Romijn, E., Coppus, R., De Sy, V., Herold, M., Roman-Cuesta, R. M., & Verchot, L. (2019). Land restoration in Latin America and the Caribbean: an overview of recent, ongoing and planned restoration initiatives and their potential for climate change mitigation. *Forests*, 10(6), 510.
- Paiva, P. F. P. R., de Lourdes Pinheiro Ruivo, M., da Silva Júnior, O. M., de Nazaré Martins Maciel, M., Braga, T. G. M., de Andrade, M. M. N., ... & Ferreira, B. M. (2020). Deforestation in protect areas in the Amazon: a threat to biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 29(1), 19-38.
- Parque Nacionales Naturales de Colombia (2021) Runap en cifras. <https://runap.parquesnacionales.gov.co/cifras>
- Pérez V, G. J. (2005) La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia. *Documentos de trabajo sobre economía Regional* n°64, Banco de la República
- Pinto, F., Clevenger, A., & Grilo, C. (2021) Effects of roads on terrestrial vertebrate species in Latin America. *Environmental Impact Assessment Review*, 81.
- Plante, J., Jaeger, J. A., & Desrochers, A. (2019). How do landscape context and fences influence roadkill locations of small and medium-sized mammals?. *Journal of environmental management*, 235, 511-520.
- Santiago-Alarcón, D., Delgado-V, C.A. (2017). *Warning! Urban threats for birds in Latin America*. En: MacGregor-Fors I, Escobar-Ibañez JF, editores. *Avian Ecology in Latin American Cityscapes*. Switzerland: Springer. p. 125–142. doi:10.1007/978-3-319-63475-3_7
- .Seburn, D.C., & McCurdy-Adams, H. (2019). Do turtle warning signs reduce roadkill? *Canadian Field-Naturalist* 133(3): 216–220. <https://doi.org/10.22621/cfn.v133i3.2279>

-
- Schank, C. J., Cove, M. V., Arima, E. Y., Brandt, L. S., Brenes-Mora, E., Carver, A., ... & Miller, J. A. (2020). Population status, connectivity, and conservation action for the endangered Baird's tapir. *Biological Conservation*, 245, 108501.
- Silva Carreño & Asociados SAS, (2021) Viaductos y Puentes. <http://www.silcarsa.com/experiencia-silva-carreno/viaductos-y-puentes/>
- Silva, I., Crane, M. & Savini, T. (2021). The road less traveled: addressing reproducibility and conservation priorities of wildlife-vehicle collision studies in tropical and subtropical regions. *Global Ecology and Conservation*, e01584.
- Smith DJ, van der Ree R & Rosell C. (2015) Wildlife crossing structures: an effective strategy to restore or maintain wildlife connectivity across roads In: Van der Ree R., Smith D.J. and Grilo C, editors. *Handbook of road ecology*. Wiley Blackwell Oxford, U.K.; pp. 172–183.
- Stasiukynas, D. C., Mejía, Á., Lizarazo, J., Wagner-Wagner, C. M., Gómez, M. F., & Payán, E. (2021). Las carreteras al mar: estudio sobre el impacto de los vertebrados silvestres y los ecosistemas circundantes en dos corredores viales de Colombia. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 3 (24), 15-40. <https://doi.org/10.22430/21457778.1637>
- Teixeira, F.Z., Printes, R.C., Fagundes, J.C.G., Alonso, A.C. & Kindel, A., (2013). Canopy bridges as road overpasses for wildlife in urban fragmented landscapes. *Biota Neotropica* 13, 117–123.
- Uribe Bedoya, H. A. (2019). *Aplicación y evaluación de una propuesta metodológica para la determinación del impacto de la infraestructura vial sobre la mortalidad de fauna silvestre en el Valle de Aburrá y el Oriente Antioqueño*. Tesis. Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas. Instituto Tecnológico Metropolitano
- Vargas - Salinas, F., Delgado- Ospina, I. & López - Aranda, F. (2011). Mortalidad por atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia. *Caldasia* 33(1):121-138.
- Zárate Rodríguez, E., (2021) *La infraestructura vial en Colombia: vías férreas, carreteras, puertos y aeropuertos. Una mirada desde la implementación del sistema de concesiones*. Trabajo de grado, Facultad de estudios a distancia, Universidad de Nueva Granada.