



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia

Guía para entender y diagnosticar este impacto



Institución
Universitaria
Reacreditada en Alta Calidad



CÓMO CITAR ESTA GUÍA:

Jaramillo-Fayad, J.C., Velázquez, 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.

Fotos portada: Marío Orlando López Castro - Asesor Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia:

Guía para entender y diagnosticar este impacto

Presidente de la República

Iván Duque Márquez

Vicepresidenta de la República

Martha Lucia Ramírez Blanco

Ministerio de Transporte

Ángela María Orozco Gómez

Ministra de Transporte

Olga Lucía Ramírez Duarte

Viceministra de Infraestructura

Laura Carmona

Directora de Infraestructura

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Carlos Eduardo Correa Escaf

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Francisco José Cruz Prada

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Andrea Corzo Álvarez

Directora DAASU

Instituto Nacional de Vías, INVIAS

Juan Esteban Gil Chavarría

Director General

Guillermo Toro Acuña

Director Técnico

Jairo Fernando Arguello

Subdirector de Medio Ambiente y Gestión Social

Agencia Nacional de Infraestructura, ANI

Manuel Felipe Gutiérrez Torres

Presidente

Diego Alejandro Morales Silva

Vicepresidente de Planeación, Riesgos y Entorno

Lilian Carol Bohórquez Olarte

Gerente Ambiental

Institución Universitaria ITM

Juan Guillermo Pérez Rojas

Rector

Hernán de Jesús Salazar Escobar

Decano Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas

Jose Luis González Manosalva

Jefe de Oficina Departamento de Ciencias Ambientales y de la Construcción
Director - Programa de Ecología de las Carreteras e Infraestructura Verde- PECIV

Juan Carlos Jaramillo Fayad

Líder Técnico - Programa de Ecología de las Carreteras e Infraestructura Verde- PECIV

AUTORES

Institución Universitaria ITM

Juan Carlos Jaramillo-Fayad, Ph.D

María Mercedes Velásquez López, M.Sc

Julia Margareta Premauer, Ph.D

José Luis González Manosalva, M.Sc (c)

Juan Carlos González Vélez, M.Sc

EQUIPO TÉCNICO DE APOYO Y REVISIÓN

Ministerio de Transporte

Magda Constanza Buitrago

Deisy Alejandra Borda

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Mario Orlando López Castro

Daniel Camilo Rodríguez Pava

Instituto Nacional de Vías, INVIAS

Julián Leyva Díaz

Marly Norela Muñoz Garnizo

Agencia Nacional de Infraestructura, ANI

Diana Carolina Orjuela García

Veronica Villalba Campos

Luisa Fernanda Tamayo Arias

Brandon Andrey Perez Rueda

Daniela Gonzalez Velez

Editora Científica:

Danny Zurc

Segunda convocatoria del banco de programas, proyectos e iniciativas de innovación social - COPIS de la Institución Universitaria ITM.

Ganador Programa de Ecología de las Carreteras e Infraestructura Verde - PECIV

Los Autores quieren agradecer especialmente a Concesión La Pintada y Devimar, por la posibilidad brindada de realizar trabajo de campo en las vías administradas por ellas.

Contenido

1.	Introducción	10	6.	Conectividad Ecológica	44
2.	Justificación	14	6.1	Conceptos clave de la conectividad ecológica	45
3.	Legislación y regulación	21	6.2	Relación entre conectividad ecológica y mitigación del atropellamiento	46
4.	Antecedentes del surgimiento de la Ecología de Carreteras y su estado en Colombia	25	7.	Metodologías para la evaluación del atropellamiento de fauna silvestre	48
5.	Aspectos e Impactos generados por los proyectos de infraestructura vial	32	7.1	Generalidades importantes para tener en cuenta	49
5.1	Cambios hidrológicos	34	7.1.1	Tipos de muestreo	49
5.2	Pérdida, fragmentación y reducción de los hábitats	34	7.1.2	Definición del área de muestreo	49
5.3	Cambio de uso y ocupación del territorio	36	7.2	Metodología para los recorridos de muestreo de atropellamiento	50
5.4	Efectos de filtro y de barrera	37	7.2.1	Establecer los objetivos del muestreo	50
5.5	Contaminación química, lumínica y sonora	39	7.2.1.1	Preparativos para la realización de los muestreos	50
5.5.1	Contaminación química	39	7.2.1.2	Definir el tramo de la vía para realizar el muestreo	51
5.5.2	Contaminación lumínica y sonora	40	7.2.1.3	Equipo de trabajo, de seguridad y de campo	51
5.6	Mortalidad de fauna silvestre por atropellamiento	40	7.2.2	Recorridos	53
5.7	Los procesos en los márgenes: nuevos hábitats y corredores biológicos	42	7.2.3	Características técnicas de la vía y ambientales	53
			7.2.3.1	Condiciones técnicas de la vía	53

7.2.3.2	Condiciones ambientales	54	8.1.7	Manejo de los hábitats en los bordes de carretera	72
7.2.4	Protocolo para toma de datos del animal atropellado	55	8.1.7.1	Corte de la vegetación	72
7.2.5	Información complementaria aportada por los pobladores locales	56	8.1.7.2	Elección de las especies vegetales para los bordes de las vías	73
7.2.6	Herramientas de recolección de datos	57	8.1.7.3	Uso de cercas vivas	73
7.3	Análisis de datos ¿Qué se puede hacer con los datos colectados?	61	8.2	Medidas de mitigación implementadas sobre la infraestructura vial	73
7.3.1	Número de atropellamientos Vs. Tasa de atropellamiento	61	8.2.1	Pasos superiores	73
7.3.2	Análisis para establecer medidas de mitigación	61	8.2.2	Pasos arbóreos	74
8.	Medidas para evitar y mitigar el atropellamiento de fauna silvestre en las infraestructuras viales	65	8.3	Medidas de mitigación implementadas por debajo de la infraestructura vial	75
8.1	Medidas para evitar el atropellamiento de fauna silvestre	66	8.3.1	Estructuras existentes (consideradas dentro de los diseños de las vías)	76
8.1.1	Sistemas de cercado o vallados perimetrales	66	8.3.1.1	Viaductos, puentes y pontones	76
8.1.2	Rampas o mecanismos de escape	67	8.3.1.2	Pasos secos multifuncionales: caminos de ganado, peatonales, carreteables, o pontones	78
8.1.2.1	Escape de los vallados: Rampas de tierra o saltaderos	67	8.3.1.3	Obras hidráulicas modificadas para uso de fauna terrestre	79
8.1.2.2	Escape de los vallados: Puertas abatibles o troncos	68	8.3.1.4	Obras hidráulicas adaptadas para peces	82
8.1.2.3	Escape de los drenajes	68	8.3.2	Estructuras correctivas (implementadas después de la fase de construcción del proyecto vial)	83
8.1.3	Disuasores artificiales	69	8.3.2.1	Pasos construidos para animales de tamaño grande y mediano	83
8.1.4	Señalización de advertencia	69	8.3.2.2	Estructuras correctivas: pasos construidos para animales pequeños	85
8.1.5	Señalización electrónica de advertencia	70	8.3.3	Túneles construidos para anfibios	86
8.1.6	Educación	71			

9.	Proyección de la Ecología de Carreteras en el país: PMTI y los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia	88
10.	Conclusiones y recomendaciones	101
11.	Bibliografía	103

Figura 6.	Planilla desarrollada por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) y la Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada para registrar los eventos de atropellamiento de fauna silvestre que sean encontrados en las vías del país.	60
Figura 7.	Algoritmo para el Análisis de datos y la ubicación de las medidas de mitigación al atropellamiento de fauna.	63
Figura 8.	Sistemas de cercado o vallado perimetral.	66
Figura 9.	Paso de fauna con rampas de acceso.	74
Figura 10.	Paso de fauna arbóreo	75
Figura 11.	Detalle, adecuación para el paso de fauna subterráneo.	81
Figura 12.	Ilustración de drenaje adaptado para peces.	82
Figura 13.	Paso de fauna subterráneo para animales pequeños.	85

Listado de figuras

Figura 1A.	Investigaciones colombianas en atropellamiento de fauna. Trabajos realizados en la región Andina de Colombia (departamentos Antioquia, Cauca, Quindío, Santander y Valle del Cauca) y en la región Orinoquia de Colombia (departamento del Meta).	28
Figura 1B.	Investigaciones colombianas en atropellamiento de fauna. Trabajos realizados en la región Caribe de Colombia (departamentos de Atlántico, Bolívar, Guajira, Magdalena y Sucre).	29
Figura 2:	Ilustración de cómo podría encontrarse la vía con respecto a la vegetación adyacente.	54
Figura 3.	Interfase de la App RECOFSA	57
Figura 4.	Interfase de la App RECOFSA y Datos Avanzados	58
Figura 5.	Imagen con las ilustraciones numeradas de los animales más atropellados en las vías colombianas.	59

Listado de tablas

Tabla 1.	Aspectos e impactos ambientales generados durante las etapas de los proyectos de infraestructura vial	33
Tabla 2.	Articulación de la guía con los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)	93

Listado de Fotografías

Foto 1.	Remoción de vegetación en una carretera en obras de mejoramiento (construcción de nueva calzada)	34			
Foto 2.	Foto satelital de una carretera en Colombia, donde podemos observar que el paisaje se encuentra dividido (parches de hábitat).	35			
Foto 3.	Fotografía satelital del efecto de “espina de pescado” generado por las infraestructuras viales en Colombia.	36			
Foto 4.	Las características de la vía determinan la intensidad del efecto barrera. A. Fotografía de una vía de doble sentido no pavimentada. B. Fotografía de una vía de doble sentido pavimentada.	37			
Foto 5.	Las características de la vía pueden determinar la intensidad del tráfico vehicular y, por lo tanto, la intensidad del efecto barrera. Fotografía de un tramo de la Gran Vía Yuma en el departamento de Santander.	38			
Foto 6.	Contaminación de partículas en las vías. El polvo es transportado por los vehículos que circulan las vías y este se deposita en la vegetación de borde.	39			
Foto 7.	Reporte de atropellamiento en una vía del departamento de Antioquia, Colombia.	40			
Foto 8.	Microhábitats que se crean a los márgenes de la vía, gracias al crecimiento de vegetación y encharcamiento después de las lluvias.	42			
Foto 9.	Conectividad estructural. Las copas de los árboles a lado y lado de la vía se conectan, sirviendo				
					como paso seguro para el desplazamiento natural de especies animales con hábitos arborícolas y semiarborícolas.
Foto 10.	Partes de una carretera: calzada, bermas, cunetas, taludes, entre otros. Foto tomada en vía concesionada en el departamento de Antioquia, Colombia.				45
Foto 11.	Grupo de trabajo utilizando el equipo de seguridad vial y de campo, durante salida de monitoreo. Los chalecos reflectivos, los conos reflectivos de seguridad vial y la paleta de tránsito (pare/siga) son indispensables para evitar siniestros viales cuando se estén realizando los monitoreos.				49
Foto 12.	Rampa de escape para animales de tamaño grande y mediano. Tomado de Clevenger & Huijser, 2011.				52
Foto 13.	Puerta abatible para el escape de animales de tamaño mediano y pequeño. Tomado de Clevenger & Huijser, 2011.				67
Foto 14.	Señalización preventiva dispuesta en las vías del territorio nacional. Foto tomada en vía concesionada en el departamento de Antioquia, Colombia.				68
Foto 15.	Señalización activa luminosa que indica que se está entrando en una zona con cruce de fauna silvestre, “Animales Suelos”. Adicionalmente, indica un límite de velocidad. Foto tomada en la Vía Zamora – Salamanca, España.				70
Foto 16.	Campañas de capacitación y sensibilización frente a la problemática del atropellamiento de fauna silvestre en las vías del país.				71
Foto 17.	Viaductos, Puentes, Pontones. En las fotografías se observan obras hidráulicas presentes en Proyecto Vial Concesionado en el departamento de Antioquia, Colombia.				72
					77

Foto 18.	Pasos secos multifuncionales: caminos de ganado, peatonales, carreteables, o pontones. En la fotografía “pasa ganado” ubicado en Proyecto Vial Concesionado en el departamento de Antioquia, Colombia.	79
Foto 19.	Obras hidráulicas que pueden ser modificadas para el paso seguro de fauna.	80
Foto 20A.	Pasos construidos para animales de tamaño grande y mediano. Vía Salamanca – Zamora, España.	84
Foto 20B.	Ecoducto de la ruta 101 de Misiones en Argentina. Fuente: Diego Varela, CeIBA/IBS-CONICET.	84

1. Introducción

PUENTE
PESQUERIA



Foto: INVIAS km 51+000, tramo 3 de la troncal del Magdalena. INVIAS

1. Introducción

Es bien reconocida la inherente relación positiva entre la infraestructura vial y el desarrollo económico, no pasa lo mismo con los impactos negativos que ésta genera sobre la biodiversidad y los ecosistemas, los cuales han venido siendo recientemente documentados (Forman et al., 2003). Entre los impactos más evidentes se encuentran la fragmentación y destrucción de hábitats y el atropellamiento de fauna silvestre; otros menos evidentes, pero igualmente graves, son el efecto de barrera y el consecuente aislamiento de poblaciones animales.

En Colombia, la mayoría de las carreteras han sido construidas sin contemplar diseños que eviten y mitiguen los impactos generados sobre el medio biótico de los ecosistemas que intervienen, en general, ni los generados sobre el componente fauna silvestre, en particular. Resaltan, por otra parte, los esfuerzos académi-

cos que se han desarrollado durante la última década, dirigidos a generar información sobre la problemática (Jaramillo-Fayad, JC., Vargas-Salinas, F., Velásquez-López, M M., González-Manosalva, JL & Pava, D C, 2018).

En este escenario, el país se encuentra ante un gran reto para: i) mejorar el conocimiento asociado al impacto de atropellamiento de fauna silvestre, ii) contribuir a crear consciencia institucional y social en torno a la magnitud del mismo y iii) crear una política que incorpore en las decisiones de inversión los costos ambientales de la construcción y funcionamiento de las infraestructuras viales. Resulta fundamental comenzar la estructuración y ejecución de proyectos carreteros armónicos con el entorno natural en el cual se insertan, interviniendo desde etapas tempranas de la planificación estratégica sectorial y del ciclo de proyectos, incorporando las consideraciones necesarias para evitar, mitigar y corregir los impactos ne-

gativos generados a los ecosistemas, encaminando la gestión del subsector por la senda del desarrollo sostenible.

Consciente de esta problemática, el Gobierno Nacional, en cabeza de los Ministerios de Transporte -Mintransporte y de Ambiente y Desarrollo Sostenible -Minambiente, con el apoyo de la Institución Universitaria ITM de Medellín, trazó una hoja de ruta, con acciones estratégicas para mitigar la problemática del atropellamiento de fauna silvestre en las vías del territorio nacional, en aras de disponer de carreteras amigables con la fauna silvestre.

Una de las acciones priorizadas fue la elaboración de una guía que orientara el entendimiento y diagnóstico del impacto de atropellamiento de fauna silvestre en Colombia, la cual constituye el presente documento, elaborado gracias al trabajo y la experiencia de la Institución Universitaria ITM de Medellín, por medio del Programa de Ecología de las Carreteras e Infraestructura Verde -PECIV y el apoyo del App -RECOFSA.

Este documento fue elaborado gracias a la financiación obtenida en la Segunda Convocatoria del Banco de Programas, Proyectos e Iniciativas de Innovación Social -COPIS, del ITM y al apoyo de los equipos técnicos de Mintransporte, Minambiente, del Instituto Nacional de Vías

-INVIAS y de la Agencia Nacional de Infraestructura -ANI.

Esta iniciativa está alineada con los compromisos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, en el “Pacto por la Sostenibilidad: Producir Conservando y Conservar Produciendo”.

El ITM, actor fundamental en la construcción de esta guía, es una institución universitaria pública municipal, cuya misión la compromete con la formación de talento humano con conciencia social y ambiental, que cuenta con más de 26.574 estudiantes, 31 programas de pregrado, 15 de posgrado y 35 líneas de investigación. Uno de sus objetivos es “trabajar por la creación, el desarrollo y la transmisión del conocimiento en todas sus formas y expresiones, así como promover su utilización en todos los campos para solucionar las necesidades del País”. Tiene el firme compromiso de promover la preservación de un medio ambiente sano y fomentar la educación y cultura ecológica.

En este contexto académico y como parte de

la línea de investigación de Química Ambiental y Desarrollo Sostenible del grupo de investigación Alquimia: Química Básica, Aplicada y Ambiente (Categoría A - Minciencias), de la Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, se realizó el proyecto “Evaluación del impacto de

la infraestructura vial sobre la mortalidad de vertebrados y posibles medidas para la conectividad ecológica del paisaje en el Valle de Aburrá” (2014-2018), el cual incluyó una serie de reuniones de trabajo con Minambiente, el Ministerio del Interior, Mintransporte, INVIAS, ANI y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt -IAvH, con el objetivo de presentar la problemática y buscar puntos comunes de interés.

La ejecución del proyecto permitió compartir el conocimiento creciente del fenómeno de atropellamiento de fauna silvestre con entidades nacionales y regionales con injerencia en el tema, tales como la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA, la Agencia Nacional de Seguridad Vial -ANSV, Parques Nacionales Naturales de Colombia -PNN, la Corporación Autónoma Regional de las

Esta guía busca dar orientaciones básicas para el entendimiento y diagnóstico del atropellamiento de fauna silvestre en el país. Recoge las experiencias adquiridas por el ITM en conjunto con los ministerios de Ambiente y Transporte.

Cuencas de los Ríos Negro y Nare -CORNARE, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia -CORANTIOQUIA y la autoridad ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA.

Uno de los productos del proyecto a resaltar es el desarrollo de seis talleres regionales sobre Atropellamiento de Fauna Silvestre en las Carreteras Nacionales, que se realizaron en las ciudades de Medellín, Cali, Bogotá, Santa Marta, Bucaramanga y Villavicencio, gracias a la financiación de la Fundación Woodcock y la participación de Mintransporte, Minambiente, INVIAS, ANI, ANSV e IAVH. Estos talleres tuvieron como objetivo capacitar operadores viales y contratistas de INVIAS y ANI en la toma de datos de atropellamiento de fauna silvestre, la analítica de los datos recolectados, las posibles medidas de mitigación y prevención, y su relación con la seguridad vial.

El documento **“Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto”** que se presenta al país, es un documento oficial que busca ilustrar los efectos generados por las carreteras en los ecosistemas naturales en sus zonas de influencia, formula recomendaciones para el levantamiento de información mediante muestreos de atropellamiento de fauna silvestre y presenta

las estrategias que pueden ser implementadas para evitar, mitigar y corregir la problemática.

Esta guía recopila material publicado en documentos técnicos sobre el tema a nivel global, proveniente de artículos producto de investigaciones académicas. Esta información fue complementada con la experiencia de investigadores (biólogos e ingenieros) del ITM, en su trabajo en el área de ecología de carreteras.

La primera parte del documento resalta los impactos positivos y negativos generados por la construcción y operación de vías. En un segundo capítulo señala las razones que soportan la necesidad de construir este documento. En el tercer capítulo relaciona los elementos constitucionales, legales y reglamentarios de mayor relevancia para la Guía. En el cuarto capítulo resume la historia del desarrollo de la disciplina Ecología de Carreteras en el mundo y sus avances en Colombia. En su quinto capítulo analiza los principales impactos negativos generados por la construcción y operación de las infraestructuras viales, mientras que en el sexto capítulo define la conectividad ecológica como concepto clave y su relación con el atropellamiento de fauna silvestre. En el séptimo capítulo presenta las metodologías recomendadas para la evaluación del atropellamiento de fauna silvestre, continuando con una lista de medidas

de prevención y mitigación frente a la problemática del atropellamiento y la pérdida de conectividad en el octavo capítulo. En el noveno capítulo resalta los importantes aportes que desde la Ecología de Carreteras se pueden obtener para contribuir al efectivo cumplimiento de los objetivos del Plan Maestro de Transporte Intermodal -PMTI (2015-2035) y su articulación con los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia. En su décimo capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones del documento.

Finalmente, los autores esperan que esta guía se convierta en una herramienta de trabajo permanente para las concesiones y administradores viales, las autoridades ambientales y las entidades encargadas de la infraestructura vial, tanto del nivel nacional como territorial, con el fin de lograr una efectiva disminución de la pérdida de biodiversidad por atropellamiento de fauna en un país megadiverso como Colombia, mediante el diseño, construcción, intervención y operación de “vías verdes” armónicas con su entorno.



Jonathan Gordillo
FOTÓGRAFO

2. Justificación

2. Justificación



Fuente: Concesión La Pintada.

La gran diversidad de fauna y flora en Colombia se sustenta en una amplia variedad de ecosistemas distribuidos en cinco regiones biogeográficas: los Andes, el Caribe, la Costa Pacífica, la Amazonia y los Llanos Orientales (llanuras del Orinoco). Se estima que es el primer país a nivel mundial en diversidad de aves y orquídeas; el segundo en diversidad de plantas, anfibios, peces dulceacuícolas y mariposas; el tercero en diversidad de reptiles y palmas; y el cuarto en diversidad de mamíferos (Rojas-G & Mora-J, 2017). En cuanto a grupos de fauna en el país que sólo pueden vivir en sitios específicos (es decir, endémicos) los estimativos indican 34 especies de mamíferos, 367 de anfibios, 66 de aves, 115 de reptiles además de las plantas y orquídeas (Rojas-G & Mora-J, 2017). De acuerdo con este panorama, el país ratificó el Convenio de Diversidad Biológica CDB (Ley 165 de 1994) y adquirió compromisos jurídicamente vinculantes en la aplicación de disposiciones para la conservación de su biodiversidad.

Colombia es considerado un país megadiverso, título con el cual recae una gran responsabilidad de conservar la biodiversidad por ser ésta la fuente principal, base y garantía del suministro de servicios ecosistémicos, indispensables para el desarrollo del país. De igual manera, impulsar el desarrollo económico mediante la construcción de infraestructuras viales, también es de vital importancia para reactivar las economías locales mediante el transporte eficiente de mercancías y servicios. Sin embargo, alcanzar estos dos objetivos ha planteado un conflicto entre la conservación y el desarrollo, donde las infraestructuras viales ayudan a impulsar las economías, pero también son uno de los principales motores de pérdida y fragmentación de los ecosistemas naturales que albergan la biodiversidad que proporciona servicios ecosistémicos esenciales (Forman et al., 2003).

Para la construcción de las carreteras se realiza intervención directa en los ecosistemas, deforestación y fragmentación de los hábitats lo cual cambia las dinámicas naturales de las especies animales (dispersión, alimentación, reproducción), y además, producen aislamiento de las poblaciones ya que algunas especies no se atreven a acercarse a la vía y las que intentan cruzar pueden morir por atropellamiento (Forman et al., 2003). El atropellamiento de fauna se ha convertido en una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad a



Fuente: autores.

nivel mundial (Forman & Alexander, 1998), ya que se han reportado cifras de muertes de animales producto de colisiones con vehículos por año, en diferentes países, como, por ejemplo, Brasil con 475 millones (Bager, Lucas, Bourscheit, Kuczach & Maia, 2016); Estados Unidos con 365 millones (Davenport & Davenport, 2006), España con más de 30 millones (López, 2004) y en países europeos se han logrado contabilizar hasta 27 millones de aves muertas (Erritzoe, Mazgajski & Rejt, 2003). Entonces, ¿de qué manera podríamos gestionar el conflicto carreteras Vs. conservación?

En consonancia con este compromiso, Colombia elaboró su “Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos PNGIBSE” en 2010, que prevé entre sus metas a 2025-2030 una acción conjunta multisectorial para la conservación. El “Plan de Acción de Biodiversidad 2016-2030” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012; Rojas-G & Mora-J, 2017) guía la implementación de esta política en el país. En él las siguientes metas de conservación tienen relación con diferentes sectores, entre ellos el sector de vías y transporte:

Eje II. Biodiversidad, gobernanza y creación de valor público

Meta II.4 Al 2025 todos los sectores contarán con estrategias de responsabilidad ambiental asociadas a la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Para 2030 las estrategias de responsabilidad ambiental asociadas a la GIBSE se habrán implementado en todos los sectores. Se habrá incrementado la inversión sectorial en un 100% en la gestión de la biodiversidad.

Eje III. Biodiversidad, desarrollo económico, competitividad y calidad de vida

Meta III.2 A 2020 se consolidará y articulará la Estrategia Nacional de Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad con otros instrumentos económicos y administrativos asociados a la pérdida de biodiversidad. A 2030 se contará con un diagnóstico sobre la efectividad de la articulación de los instrumentos de regulación directa y los instrumentos económicos para lograr las metas de conservación.

Meta III.8 Para el 2030 el 100% de los proyectos de concesión de infraestructura de 4G [...] contarán con evaluaciones ambientales estratégicas. Se implementarán las evaluaciones ambientales estratégicas como herramientas estructuradas y sistemáticas de evaluación de los impactos ambientales de las políticas, planes y programas en las etapas tempranas de planificación sectorial. El país hará la evaluación y el seguimiento a la implementación de las evaluaciones ambientales estratégicas en las etapas tempranas de planificación sectorial.

Colombia también es un país que está en mora de modernizar su red de infraestructuras de transporte terrestre que aún es ineficiente e insuficiente para la interconexión que requiere para transportar el flujo de mercancías y personas (Quintero Pinzón et al., 2014). Mejores o nuevas carreteras permitirían potenciar la presencia del Estado en las zonas más remotas del país, y de ese modo fortalecer la institucionalidad. Se presume un impacto positivo en términos sociales, políticos y económicos dado el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes. Por estas razones, el “Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) 2015-2035” es una prioridad para el país y se prevé un aumen-



Fuente: INVIAS, PR 38 al 40 Transversal Buga Puerto Inírida.

to de casi 7.000 km de carreteras para 2035. En la Red Básica, el PMTI plantea intervenir 12.681 km de redes primarias (entre mantenimiento de red no concesionada, construcción y mejora). En las Redes de Integración (carreteras nuevas), el PMTI plantea 6.880 km de vías intervenidas. A nivel nacional serían 19.561 km viales. En un país megadiverso como Colombia es inevitable que estas intervenciones tan necesarias sucedan en zonas de alta biodiversidad, de endemismos, o de ecosistemas vulnerables. Por eso, es imperativo incorporar la gestión de la conectividad ecológica en los procesos de diseño, construcción y operación de vías (Benavides, Cárdenas, & Prieto, 2015).

De cara a los retos de fenómenos asociados al cambio climático y las exigencias ambientales nacionales, el sector de vías y transporte ha elaborado dos documentos que apuntan a una reorientación de visión y de prácticas para incorporar en la construcción de las vías de transporte, el cambio climático, la vulnerabilidad y riesgos asociados a este; y la gestión ambientalmente responsable. El “Plan Vías Cambio Climáti-

La ocurrencia de atropellamientos de fauna es directamente proporcional al desarrollo de nuevas vías, y se ha atribuido principalmente a la fragmentación de los ecosistemas.

co-Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia” (Quintero Pinzón et al., 2014) busca generar una mayor competitividad y desarrollo en el sector vial y de transporte que sean compatibles con el cambio climático especialmente en la red vial primaria. Así como el plan indica que “es necesario incluir las proyecciones climáticas en el diseño de las vías nuevas y en el de las obras de mantenimiento de las vías actuales”, también es muy importante incluir las medidas de conservación de la biodiversidad afectada por las infraestructuras viales.

El país cuenta con un “Manual de Compensaciones del Componente Biótico” (Ramírez Martínez, Hincapié Posada, Fernández, Ruíz Hernández, & Lozano Rodríguez, 2018), y con una “Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura” (Ossa Gomez et al., 2011) que incluye la construcción de pasos de fauna como una estrategia para normalizar las condiciones de movilidad restringida de las especies a causa de las infraestructuras. Igualmente, en la actualidad se cuenta con un Documento de Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia, orientados a la es-

tructuración de planes, programas y proyectos de infraestructura carretera, con el fin de que la ejecución de los mismos genere un beneficio ambiental neto positivo. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible, WWF-Colombia y Proyecto GEF – Corazón de la Amazonia (2020).

Sin embargo, se necesitan todavía documentos técnicos que aborden las medidas de conectividad ecológica, así como las medidas para evitar y mitigar el atropellamiento de fauna en el país y, además, lineamientos de cómo compensar los individuos que mueren por colisión con vehículos. Por estos motivos, la propuesta de esta guía es proveer herramientas para gestionar aspectos del conflicto entre la protección de la biodiversidad y las necesidades de infraestructura vial para el crecimiento de las poblaciones humanas.

Objetivo de la Guía:

El objetivo de la presente guía es proveer información introductoria sobre la Ecología de Carreteras y dar orientaciones para el análisis y la toma de datos de atropellamiento de fauna, y mostrar las medidas que pueden ser implementadas para evitar y mitigar los impactos generados por las infraestructuras viales.

Esta guía constituye un paso más para introducir el tema de la ecología de carreteras en el país y proporcionar un compilado de la información existente, sobre los efectos generados por la construcción y operación de carreteras, cómo se relacionan con la conectividad ecológica en los ecosistemas y las variables que se deben registrar con el fin de realizar análisis robustos, que permitan proponer e implementar medidas para prevenir y mitigar las problemáticas generadas mediante la jerarquía de mitigación la cual plantea el siguiente orden: primero evitar, luego mitigar y corregir, y finalmente, de ser posible, compensar por cualquier impacto ineludible sobre el ambiente. Así mismo, busca visibilizar la problemática para generar posibles soluciones desde la articulación con los tomadores de decisiones a nivel país.

Es importante realizar una aclaración

El atropellamiento de fauna también representa un importante problema de seguridad vial: las colisiones con fauna provocan lesiones, pérdida de vidas y costos asociados a atención médica y reparación de los vehículos.

en esta sección, en la cual se resalta que, aunque esta guía pretende dar orientaciones para la prevención y mitigación de los efectos generados por las infraestructuras viales, es necesario que se realicen estudios con una metodología estandarizada y sistemática que permita determinar cuáles son las zonas prioritarias

a intervenir en la vía que se está estudiando. Posteriormente, se deben realizar estudios de conectividad que permitan determinar los parches que deben ser reconectados y cuáles serían las estrategias elegidas para implementar, según la biología y la ecología de las especies más afectadas en la zona. Los resultados de estos estudios dependerán del tipo de vía que se esté analizando, el ecosistema adyacente donde se encuentre la infraestructura, además, de la topografía del terreno, ya

que, no es lo mismo realizar un monitoreo en una vía que bordea un río que realizar un monitoreo en una vía que sube una montaña o va paralela a una sabana. Por estos motivos, es imposible establecer una receta a seguir que aplique para todas

las vías del país y que además indique una medida estándar del número de kilómetros para instalar los pasos de fauna sobre una vía.

Esta guía constituye un primer esfuerzo conjunto para orientar en cómo desarrollar el diagnóstico de atropellamiento y cuáles de las medidas de prevención y mitigación existentes podrían ser implementadas.

Alcance

- Esta guía es un texto para sensibilizar, educar y orientar a las personas acerca de los impactos de las infraestructuras viales sobre los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas que intervienen.
- Esta guía presenta una metodología estándar para el levantamiento de información de atropellamiento de fauna, que requiere de unos mínimos técnicos a tener en cuenta al momento de realizar los diagnósticos válidos técnicamente y proponer medidas de mitigación efectivas.
- Esta guía NO es un manual de prescripciones técnicas para ubicar, diseñar y construir pasos de fauna.

Público objetivo:

Actores públicos y privados relacionados con la infraestructura vial. Tomadores de decisiones como la ANI, INVIAS, ANSV, Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto Alexander von Humboldt, Autoridades Ambientales Regionales (CAR), autoridades departamentales y municipales a cargo de las vías. Actores privados como concesiones viales que actualmente son 42 en todo el país (Agencia Nacional de Infraestructura, 2020) y empresas interventoras como operadores viales en el mantenimiento de vías y seguridad vial. Profesionales encargados del diseño, la planificación, proyección, construcción, operación y mantenimiento de las infraestructuras viales. Profesionales y técnicos involucrados en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), la vigilancia de la ejecución de los proyectos, el seguimiento y evaluación en diferentes fases de funcionamiento de una carretera. Adicionalmente, investigadores, profesionales y técnicos con formación en las áreas de construcción (ingenieros, arquitectos, paisajistas, tecnólogos, entre otros) y del medio ambiente y recursos naturales (biólogos, ecólogos, conservacionistas, entre otros).

Impacto social de la guía:

Las infraestructuras viales traen consigo impactos positivos para las comunidades, especialmente para aquellas que han estado aisladas y a las cuales se les dificulta comercializar o intercambiar sus productos y tener acceso a los servicios necesarios. Sin embargo, esto genera a largo plazo un impacto social negativo al cambiar o perder completamente el hábitat, de lo cual se van desprendiendo otros efectos de difícil observancia y que pueden visibilizarse a través de guías como esta. Los efectos negativos se presentan entonces a largo plazo y aquí los ciudadanos tienen un papel esencial al conocer el ecosistema que los rodea, para poder comprender la importancia de cuidarlo y cómo hacerlo, encontrando un equilibrio para las diferentes comunidades y estructuras que lo conforman. Por lo anterior, es fundamental la participación de la comunidad al momento de diseñar una intervención vial, comprendiendo la responsabilidad de nuestro país al ser una de las reservas de fauna y flora en el planeta.

Frente a los desafíos contemporáneos ya es imperativo que el desarrollo económico y la conservación vayan de la mano. Como

ciudadanos, como actores económicos, sociales e institucionales, desde lo local a lo nacional, de lo megadiverso que es Colombia y que directa o indirectamente nos beneficiamos de esa biodiversidad, todos compartimos la responsabilidad de adelantar acciones de conservación desde cada uno de los sectores.

Algunos autores consideran el atropellamiento de fauna como uno de los factores que más contribuyen a la pérdida de biodiversidad.

3. Legislación y regulación



Fuente: autores.

3. Legislación y regulación

Los siguientes son algunos de los fundamentos constitucionales, legales y reglamentarios de mayor relevancia para esta Guía.

➤ Normas constitucionales

La Constitución Política de Colombia de 1991 establece la corresponsabilidad entre Estado y las personas para con el medio ambiente en los siguientes artículos:

- **Artículo 8.** Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.
- **Artículo 58.** Cuando de la aplicación de una ley expedida por motivos de utilidad pública o interés social, resultaren en conflicto los derechos de los particulares con la necesidad por ella reconocida, el interés privado deberá ceder al inte-

rés público o social. La propiedad es una función social que implica obligaciones. Como tal, le es inherente una función ecológica.

En los siguientes artículos se direcciona la interpretación de las leyes ambientales:

- **Artículo 79.** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
- **Artículo 80.** El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo

sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá evitar y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

Se reitera la responsabilidad hacia el patrimonio cultural y natural

- **Artículo 95 numeral 8.** Son deberes de la persona y el ciudadano proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

➤ Normas legales y reglamentarias

- **Decreto Ley 2811 de 1974 -Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente-**, que regula integralmente la gestión ambiental y el manejo de los recursos naturales renovables (aguas, bosques, suelos, fauna etc.). Provee la regulación ambiental en materia de construcción de proyectos carreteros con base en el presupuesto que: “...



Fuente: autores.

cualquier obra o actividad susceptible de producir deterioro ambiental, está obligada a declarar el peligro presumible que sea consecuencia de la obra o actividad”. Es el fundamento legal de los decretos reglamentarios que se citan al desarrollar lo referido a permisos, autorizaciones y/o concesiones, únicamente están derogados los artículos 18, 27, 28 y 29.

- **Ley 99 de 1993**, crea el Ministerio del Medio Ambiente, el Sistema Nacional

Ambiental (SINA), adopta el desarrollo sostenible como principio esencial. En el aparte Título VIII, las Licencias Ambientales, son obligatorias como instrumento de regulación para el desarrollo de cualquier actividad que, en los casos estipulados por la ley, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales o al ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje. En el Artículo 57 del **Título VIII**, sobre el Estudio de Impacto Ambiental señala que, debe

incluir el diseño de los planes de **prevención, mitigación, corrección y compensación de impactos** y el plan de manejo ambiental de la obra o actividad.

- **Resolución 1517 de 2012**, (reglamenta art. 57 ley 99) adoptó el primer “Manual de asignación de Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad”, aplicable a los proyectos, obras, o actividades sujetas a licenciamiento ambiental de competencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).
- **La Resolución 0256 de 2018**, actualizó el “**Manual de Compensaciones del Componente Biótico**”, recomienda que todo el ciclo de planeación, construcción, operación, manejo y desmantelamiento de los proyectos, obras o actividades se enmarque dentro de la **Jerarquía de Mitigación**: Medidas de manejo organizadas jerárquicamente con el objetivo de disminuir al máximo los impactos ambientales y los costos económicos asociados a su mitigación.
- **Decreto 1076 de 2015**, en el ámbito de reglamentación del licenciamiento ambiental, establece la competencia de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) para la construcción de ca-

rrteras de la red vial primaria, mientras que las Corporaciones Autónomas Regionales, las de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Distritos competentes, son los entes encargados de otorgar o negar la licencia ambiental para la construcción de carreteras de la red vial secundaria y terciaria.

Los siguientes dos tienen efectos extensibles a los proyectos de infraestructura vial:

- **Decreto 1608 de 1978**, en materia de fauna silvestre, provee herramientas legales para la protección de la fauna.
- **Ley 1774 de 2016**, establece por primera vez que los animales no son cosas sino seres sintientes y por tanto recibirán especial protección contra el sufrimiento y el dolor, causado directa o indirectamente por los seres humanos. Declara a la integridad física y emocional de los animales como bienes jurídicos objeto de protección de la vida.

4. Antecedentes del surgimiento de la Ecología de Carreteras y su estado en Colombia



Fuente: autores.

4. Antecedentes del surgimiento de la Ecología de Carreteras y su estado en Colombia

La Ecología de Carreteras es una disciplina científica aplicada que integra la Ecología, la Ingeniería y la Geografía con el objetivo de cuantificar y caracterizar los efectos que generan las infraestructuras de transporte terrestre sobre los ecosistemas y los componentes bióticos y abióticos que los habitan y cómo evitar y mitigar sus impactos (van der Ree, Smith, & Grilo, 2015). La Ecología de Carreteras estudia las interacciones entre los organismos (especies o poblaciones) y el ambiente compuesto por las carreteras y el flujo vehicular. Las carreteras comprenden desde el camino veredal sin pavimentar, hasta las autopistas de varios carriles y se estudia desde un segmento de carretera, hasta una red vial completa con su flujo vehicular (Forman et al., 2003).

Forman y colaboradores en el año 2003, señalan la década de 1980 como el inicio de la ecología de carreteras en países del hemisferio Norte ya que antes de esa década los estudios e intervenciones respondieron a intereses individuales o a problemas puntuales. Hasta 1980 se centraron en estudios y soluciones para manejo del drenaje de aguas lluvias y de los derrumbes en los cortes de carreteras. Desde la década de 1920 en Canadá y Escandinavia ya eran objeto de estudio las colisiones entre vehículos y grandes mamíferos como venados y alces influenciados por los elevados costos económicos y sociales. En 1960 Francia expande su red vial y como resultado de un acuerdo con el gremio de los cazadores se construyeron 150 pasos superiores para animales de caza en autopistas. En Estados Unidos, en la década de

1970 se construyen cinco pasos superiores para venados en la autopista Turnpike en Pensilvania, y otros más en diferentes estados para venados migratorios y jinetes. La conciencia de la importancia del medio ambiente se consolida mundialmente y toman importancia los temas de contaminación causada por las carreteras y el tráfico vehicular (Forman et al., 2003).

En 1980 se empezaron a generar algunos programas que coordinaron investigación y política pública y que lograron una continuidad. Aumentan los estudios de atropellamiento de fauna; la creación de programas estatales como por ejemplo en Holanda que fue la catalizadora del tema para Europa. Se destacan la construcción de pasos inferiores para anfibios en Europa oriental, dos pasos superiores de 25 m de ancho en Canadá (Forman et al., 2003), y la construcción y registros de uso de 24 pasos inferiores para panteras en el estado de Florida (Evink, 1990). Cinco congresos internacionales en ecología de carreteras tuvieron lugar en Holanda y en los Estados Unidos. En 2003, se publicó el libro seminal de la ecología de carreteras “*Road Ecology, Science and Solutions*” que compila los trabajos de los mayores expertos en el tema y, conceptualmente se consolidó la Ecología de Carreteras como una disciplina científica e interdisciplinaria que incluye la Ecología, la Geografía, la Ingeniería y la Planeación (Forman et al., 2003).

La Ecología de Carreteras continúa su desarrollo involucrando, entre otros, el análisis a escala de paisaje y los efectos de la fragmentación del hábitat en la conectividad (Coffin, 2007), la incorporación de técnicas usadas en investigaciones genéticas, metodologías para estimar efectos y para implementar y evaluar la funcionalidad de los pasos de fauna, incorporación de la biodiversidad en el diseño de las carrete-

ras, mejoramiento de los estudios de impacto ambiental y planeación de vías (van der Ree et al., 2015); así como, la implementación de plataformas virtuales de ciencia ciudadana para reporte de atropellamientos (Bager, 2018). De igual forma, avanzó el interés heterogéneo de incorporar en la planeación pública las medidas de mitigación, por ejemplo, entre 2003 y 2016 el Ministerio para la Transición Ecológica



Fuente: autores.

y el Reto Demográfico de España, publicó una serie de documentos con prescripciones técnicas para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por las infraestructuras de transporte y para el diseño y la implementación de medidas de mitigación frente a los impactos negativos generados por las carreteras (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015; Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

En América Latina, Brasil tiene la mayor trayectoria en investigación en el tema, compilada inicialmente en (Bager, 2012) “*Ecología de Estradas: Tendencias e Pesquisas*”. En 2012 la Universidad Estatal de Lavras creó el Centro Brasileño de Estudios en Ecología de Carreteras – CBEE– y lanzó en 2014 el Sistema Urubu, una plataforma de ciencia ciudadana que en cuatro años sistematizó 100 mil registros de fauna atropellada y permitió la difusión del conocimiento en ámbitos de toma de decisiones para reducir impactos (Bager, 2018). El CBEE realizó

cuatro congresos brasileros de ecología de carreteras y en el *I Congreso Iberoamericano de Biodiversidad e Infraestructura Viaria en 2016*, se logró crear la Red Latinoamericana de Biodiversidad e Infraestructura vial (Bager, 2018).

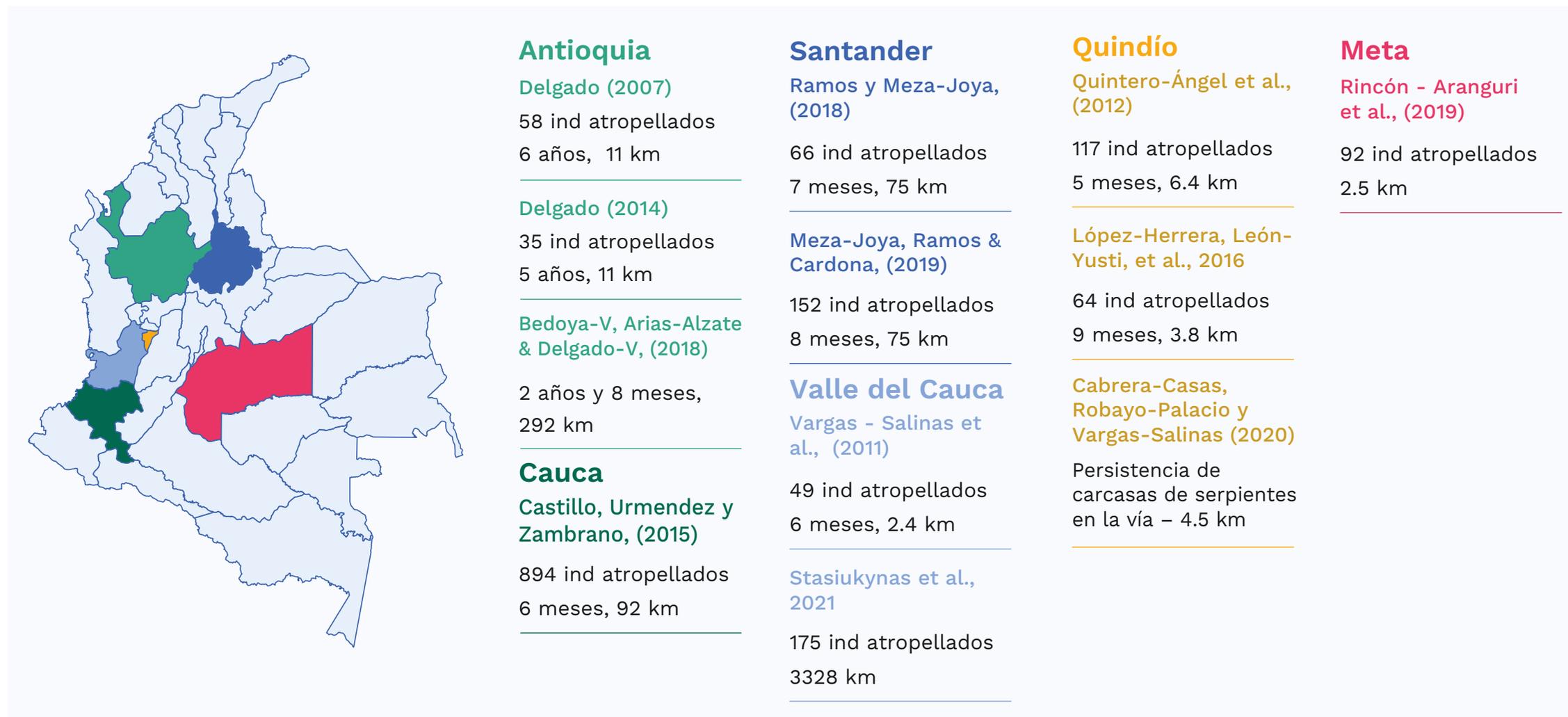
Las primeras publicaciones formales sobre ecología de las carreteras a nivel mundial datan de 1950, especialmente en Estados Unidos y Europa. En Colombia se ha presentado un importante incremento de publicaciones y trabajos de investigación en la última década.

En países como México, Costa Rica, Uruguay, Argentina y Colombia también se cuenta con investigaciones en torno a la Ecología de Carreteras y ya se han implementado medidas de prevención y mitigación, aunque todavía dispersas y aisladas (Bager, 2018; Bager et al., 2016; Cano Gómez, 2016). En México, un ejemplo a resaltar es la autopista Nuevo Xcan-Playa-del-Carmen, construida en 2014 y que, al pasar por corredores de fauna, contó con los estudios que dieron lugar a la construcción de 29 pasos inferiores para jaguar y 28 pasos aéreos para primates (González-Gallina & Benítez-Badillo, 2018). En Costa Rica, existen medidas aisladas de señalización, pasos de fauna aéreos e inferiores y evidencia del uso de alcantarillas como pasos seguros; en 2014 además, se publicó una Guía Ambiental que ya ha sido utilizada en al-

gunos proyectos viales sin haber sido incorporada totalmente en los requerimientos legales de cada proyecto de infraestructura vial (Arévalo-Huezo, Pomareda-García, & Araya-Gamboa, 2018; Pomareda et al., 2014).

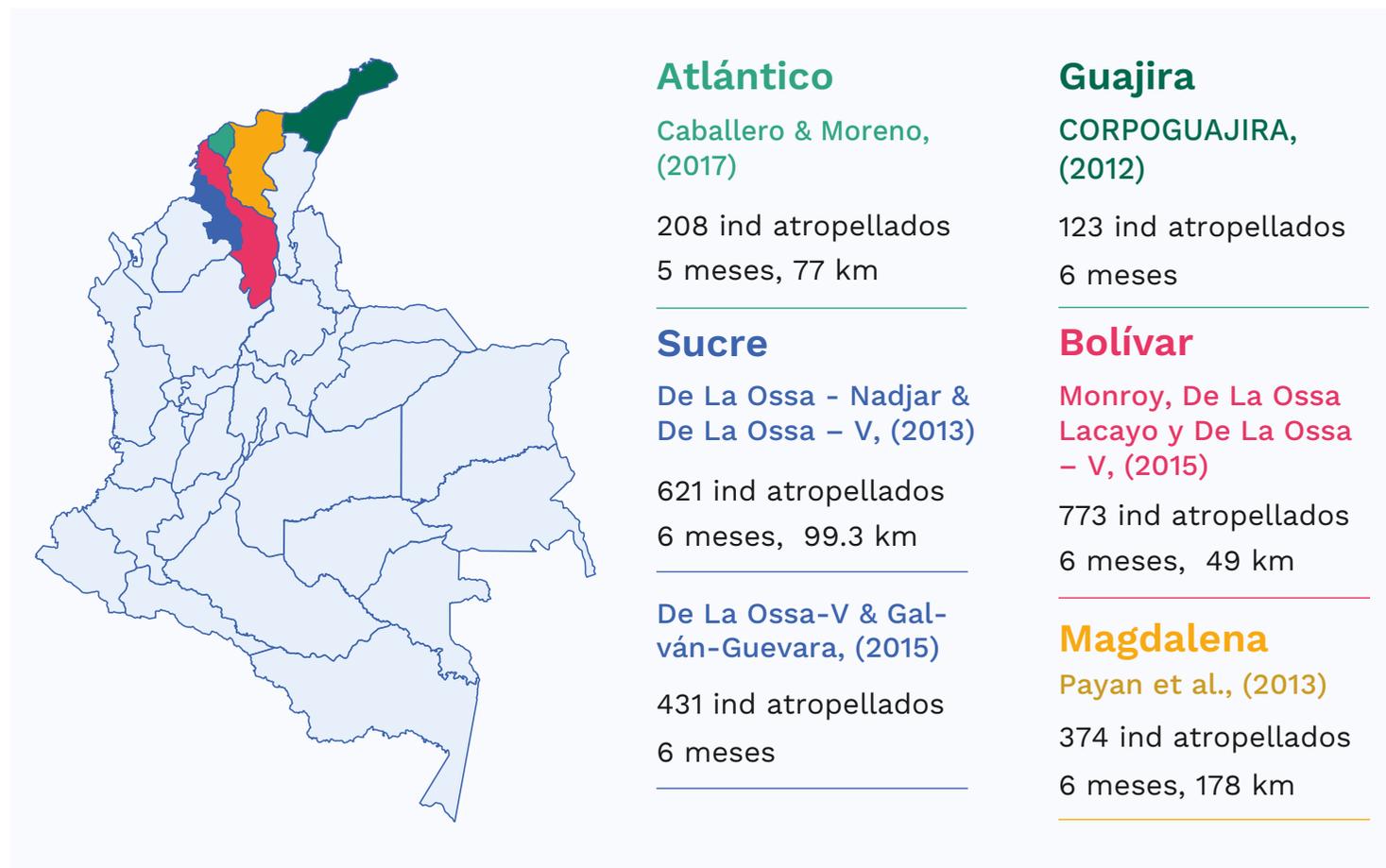
Actualmente en Colombia existe un interés creciente en la Ecología de Carreteras y, además, hay una necesidad de articulación entre las instituciones del estado, la academia, los constructores y operadores viales para buscar medidas efectivas contra los efectos adversos generados por la construcción y operación de las infraestructuras viales. Las iniciativas de trabajo sobre atropellamiento de fauna se visibilizan cada vez más gracias a los aportes de diversos grupos, investigadores (academia), instituciones y fundaciones (Figura 1A y 1B) que se encuentran estudiando el atropellamiento de fauna, las variables que pueden estar involucradas en las tasas de atropellamiento por especie y las medidas de prevención y mitigación que puedan ser implementadas para contrarrestar esta problemática. Los departamentos que se encuentran liderando estos temas son Antioquia, Atlántico, Cauca, La Guajira, Magdalena, Meta, Quindío, Santander, Sucre y Valle del Cauca, donde también se han realizado campañas de sensibilización y denuncia con el fin de involucrar a la ciudadanía a través de la ciencia ciudadana (Jaramillo-Fayad et al., 2018).

Figura 1A. Investigaciones colombianas en atropellamiento de fauna. Trabajos realizados en la región Andina de Colombia (departamentos Antioquia, Cauca, Quindío, Santander y Valle del Cauca) y en la región Orinoquia de Colombia (departamento del Meta). (ind= individuos).



Fuente: autores.

Figura 1B. Investigaciones colombianas en atropellamiento de fauna. Trabajos realizados en la región Caribe de Colombia (departamentos de Atlántico, Bolívar, Guajira, Magdalena y Sucre). (ind= individuos).



Fuente: autores.

La Ecología de Carreteras vislumbra ya una etapa inicial hacia su consolidación en Colombia. En el 2013 el profesor Juan Carlos Jaramillo Fayad fundó la Red Colombiana de Seguimiento de Fauna -RECOSFA- y en el año 2014 lanzó su App con el mismo nombre, en el IV Congreso Colombiano de Zoología. Para el año 2015 se dio inicio al proyecto de diagnóstico de atropellamiento de fauna silvestre en vías del Oriente Antioqueño financiado por la Institución Universitaria ITM. Al año siguiente, en 2016, el ITM y RECOSFA realizaron la primera capacitación y sensibilización en torno al atropellamiento de fauna a funcionarios del Ministerio de Transporte e INVIAS y, adicionalmente, se realizaron censos de atropellamiento en conjunto con funcionarios de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Entre los años 2018 y 2019, el ITM y RECOSFA, con el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y del Ministerio de Transporte realizaron 6 talleres regionales para capacitar operadores viales y funcionarios de la ANI e INVÍAS en la toma de datos de atropellamiento de fauna silvestre, el impacto de este fenómeno y su relación con la seguridad vial, en las ciudades de Medellín, Cali, Bogotá, Santa Marta, Bucaramanga y Villavicencio.

Las iniciativas en Ecología de Carreteras del ITM-RECOFSA han obtenido cuatro reconocimientos: Semana Sostenible 2017, Transformaciones 2019 y Premios Latinoamérica Verde 2019 y 2020. Entre los logros académicos del ITM-RECOFSA se destaca la participación en 22 eventos académicos de Ecología de Carreteras (cursos, simposios, congresos), la organización de 6 simposios, la creación de un semillero de investigación (INFRAVERDE) y la publicación de capítulos en los libros: Reporte de Estado y Tendencias de la Biodiversidad Continental de Colombia 2017, del Instituto Humboldt, Infraestructura Viaria & Biodiversidad en el 2018 y en Zarigüeyas (Chuchas Comunes) Marmosas y Colicortos en Colombia en el 2020 (Bager, 2018; Flórez-Oliveros & Vivas-Serna, 2020; Jaramillo, González, Velásquez, Ayram & Isaccs, 2017; Jaramillo-Fayad, González-Vélez, Barberi-Ríos & Hernández-Olarte, 2020; Jaramillo-Fayad, Vargas-Salinas, Velásquez-López, González-Manosalva & Pava, 2018) y artículos científicos en revistas de alto impacto.

En mayo de 2019 se realizó el lanzamiento del Programa de Ecología de las Carreteras e Infraestructura Verde (PECIV) del ITM de Medellín, el cual se concibe como un centro de pensamiento, investigación e innovación, que busca soluciones para mitigar los impactos que las infraestructuras puedan ocasionar sobre los ecosistemas y la biodiversidad.

5. Aspectos e Impactos generados por los proyectos de infraestructura vial

Puerto López – Meta

Fuente: Juan Camilo Aguilar Montoya
photo@camiloaguilar.co



Puerto López – Meta

Fuente: Juan Camilo Aguilar Montoya
photo@camiloaguilar.co

5. Aspectos e Impactos generados por los proyectos de infraestructura vial

Para identificar los aspectos e impactos generados en los proyectos de infraestructura, es necesario definir primero cuáles son sus etapas. Los proyectos de infraestructura de transporte a cargo del INVIAS y de la ANI deben pasar por tres etapas de desarrollo para su ejecución:

- 1) **Etapas de Preinversión:** donde se encuentran todas las actividades necesarias para la concepción, planeación, estudios y diseños requeridos para la construcción del proyecto vial. Dentro de esta etapa de Preinversión, los estudios de los proyectos de infraestructura vial en Colombia se encuentran divididos en 3 fases principales que son estipuladas en la Ley 1682 de 2013 (Ley de Infraestructura), estas son: a) Fase 1 o Pre – Factibilidad, b) Fase 2 o Factibilidad y c) Fase 3 o Diseños definitivos. Cada una de estas fases está relacionada con diferen-

tes actividades, en la Fase 1 o Pre – Factibilidad se identifican los posibles corredores de ruta, se realiza un prediseño aproximado del proyecto vial y a partir de este se realiza una evaluación económica preliminar para determinar si el proyecto es viable económicamente. En la Fase 2 o Factibilidad se debe diseñar el eje en planta de la vía para realizar la evaluación económica final, mediante la simulación con el modelo aprobado por las entidades contratantes. Esta fase tiene por finalidad establecer si el proyecto es factible para su ejecución, dependiendo de su rentabilidad y considerando todos los aspectos relacionados con el mismo. En la Fase 3 o Diseños definitivos, se elaboran todos los diseños detallados que se requieran en caso de que el proyecto sea rentable, de tal forma que un constructor pueda materializar la vía (Repú-

blica de Colombia, Ministerio de Transporte e INVIAS, 2009; Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2014).

- 2) Etapa de Inversión:** en esta se encuentran todas las actividades necesarias para la construcción de las obras del proyecto, hasta que comience a operar.
- 3) Etapa de Operación:** la cual incluye todas las actividades necesarias para operar y mantener las obras del proyecto vial, desde su entrada en operación hasta el final de su vida útil.

Habiendo definido las etapas que deben cumplir los proyectos viales en Colombia, podemos identificar los principales aspectos e impactos ambientales generados dentro de éstas, sin embargo, antes de entrar en el tema es importante definir qué es un aspecto y un impacto ambiental. Los aspectos ambientales son las actividades que llevan a cabo las empresas, organizaciones o entidades para producir productos o prestar servicios, las cuales pueden interactuar con el ambiente, mientras que, un impacto ambiental es “cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización” (ISO 14001:2015).

Los principales aspectos ambientales generados por la construcción y operación de las infraestructuras viales son la emisión de gases de efecto invernadero (por los vehículos de los usuarios de las vías), la mala disposición de los

residuos sólidos, la deforestación, la fragmentación de los hábitats y el atropellamiento de fauna (Tabla 1). Estos aspectos se presentan durante las fases de construcción y operación de las vías.

Tabla 1. Aspectos e impactos ambientales generados durante las etapas de los proyectos de infraestructura vial.

Aspectos ambientales	Impactos ambientales	Etapas del proyecto de infraestructura vial donde se presentan los aspectos e impactos ambientales
Emisión de gases de efecto invernadero (GEI)	Contaminación del aire	Etapa de inversión y Etapa de operación
Deforestación	Pérdida y destrucción de hábitat	Etapa de inversión
Desecho de residuos sólidos	Contaminación de cuerpos de agua y suelos	Etapa de inversión y Etapa de operación
Residuo generado por vehículos	Contaminación auditiva y cambios en los patrones reproductivos de algunas especies de fauna	Etapa de inversión y Etapa de operación
Atropellamiento de fauna	Pérdida de individuos y posibles extinciones locales	Etapa de inversión y Etapa de operación
División de ecosistemas	Efecto borde	Etapa de inversión y Etapa de operación

Fuente: autores.

5.1 Cambios hidrológicos

Desde el momento del corte de los taludes en donde va el trazo de la carretera cambia la topografía y con frecuencia éstos inducen grandes efectos en la hidrología local, que si no se maneja adecuadamente puede aumentar la erosión, producir condiciones más secas o húmedas, las cuales a la vez afectan los hábitats circundantes, ya sean en terrenos secos no inundables o con humedales (Forman & Alexander, 1998; Forman et al., 2003; Quintero, 2016; van der Ree et al., 2015).

5.2 Pérdida, fragmentación y reducción de los hábitats

Se ha determinado en razón a las evidencias que los impactos ambientales en general y la pérdida de cobertura vegetal en particular, se generan desde instancias tempranas de la planificación vial, antes de la definición del trazado. El solo planteamiento de los proyectos genera expectativas que han causado deforestación (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible, WWF-Colombia, proyecto GEF – Corazón de la Amazonia, 2020).

La pérdida de cobertura vegetal se presenta du-

rante el trazado de la carretera, en el lugar donde se construirá, en la zona destinada a la extracción de materiales durante la fase de construcción y en las vías provisionales para transportar el material extraído. A primera vista, al pensar en una carretera, este efecto parece menor, sin embargo, si se suman todos los kilómetros de

la red vial nacional y si además se agregan los incrementos proyectados, el impacto puede ser significativo para las poblaciones animales y sus hábitats naturales (Foto 1) (Forman & Alexander, 1998; Forman et al., 2003; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; Quintero, 2016; van der Ree et al., 2015).

Foto 1. Remoción de vegetación en una carretera en obras de mejoramiento (construcción de nueva calzada).



Fuente: autores.

La red de infraestructuras viales tiene el efecto de dividir los hábitats naturales en porciones o fragmentos más pequeños llamados parches (Foto 2). Por un lado, entre menor sea el tamaño del parche de hábitat, menor será el número de individuos que pueda albergar de una determinada especie, por lo tanto, la reducción en el tamaño de los parches puede llevar a que no posean las condiciones necesarias para sostener poblaciones viables de especies animales (Luell et al., 2003; van der Ree et al., 2015). Por otro lado, los parches de hábitat que se presentan en el momento en el que la infraestructura vial se construye quedan frecuentemente incomunicados entre sí. Cuando un hábitat natural es dividido, las poblaciones animales quedan aisladas unas de otras, haciendo más difícil la dispersión natural ya que deben moverse entre los fragmentos, de esta manera se tornan más vulnerables al atropellamiento y en algún momento a la extinción local y regional. Estas extinciones, según la especie, pueden ser inmediatas u ocurrir en un mediano a largo plazo por causas directas e indirectas (Luell et al., 2003; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010). La clasificación de las carreteras también influye en que tan fuerte puede llegar a ser el efecto barrera, al igual que otras características como el número de carriles, el ancho (m) de la vía, la intensidad y frecuencia de tráfico vehicular, al igual que si la vía es pavimentada o no.

Foto 2. Foto satelital de una carretera en Colombia, donde podemos observar que el paisaje se encuentra dividido (parches de hábitat).



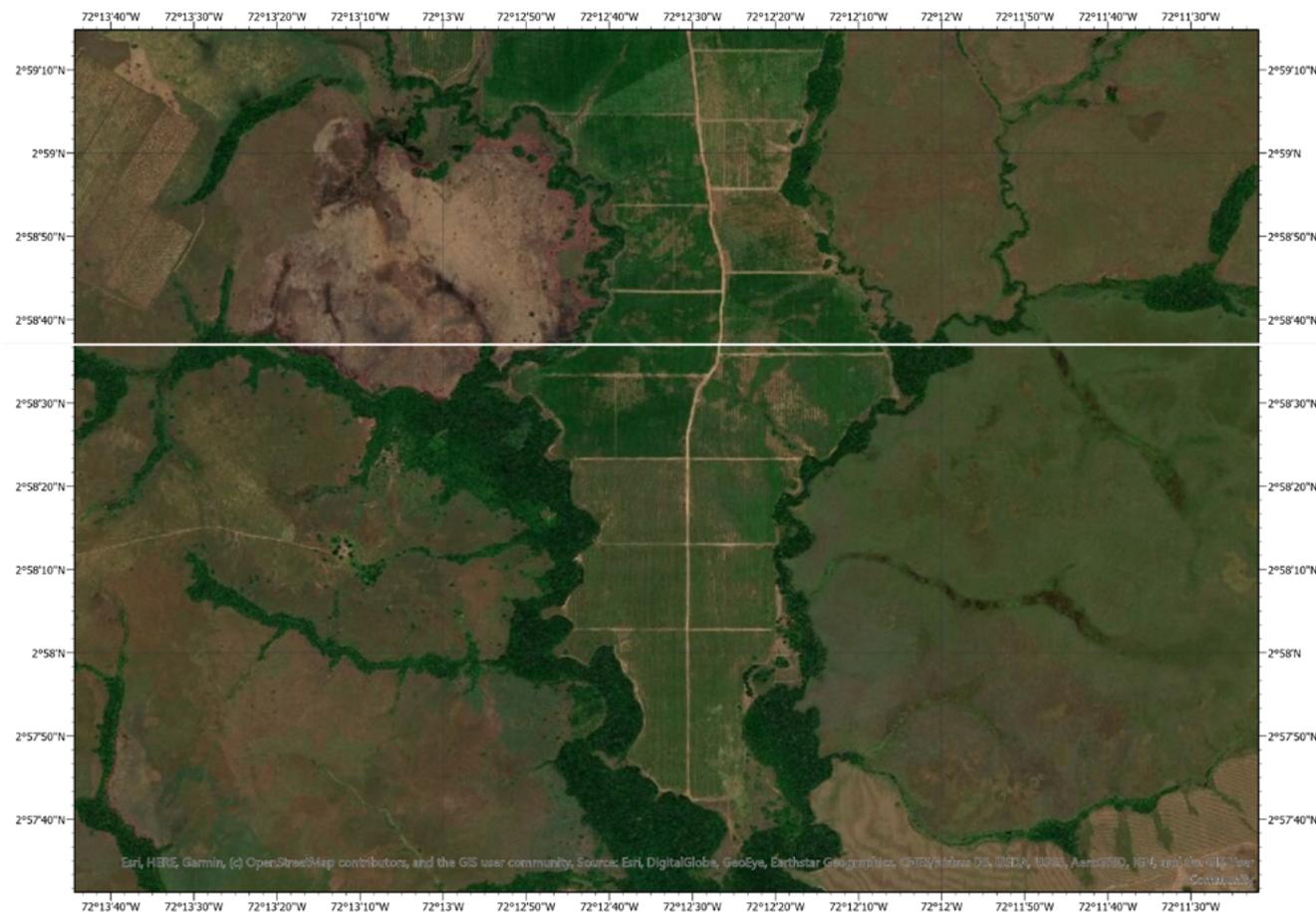
Fuente: tomada de Google Earth Engine.

5.3 Cambio de uso y ocupación del territorio

Las infraestructuras de transporte terrestre son motores de deforestación y colonización porque favorecen un mayor acceso a zonas antes aisladas, generando procesos acelerados de deforestación y colonización de nuevos territorios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). Por ejemplo, en la Amazonía Colombiana el patrón de transformación se puede explicar con la distancia a las vías: hasta una distancia de 10 km de las vías ocurre deforestación con propósitos agropecuarios comerciales intensivos y hasta 50 km de las vías, las coberturas de vegetación dispersas indican procesos recientes de colonización y producción (Etter, McAlpine, Pullar, & Possingham, 2006). Las nuevas vías incentivan la construcción de caminos secundarios para acceder a lugares más lejanos (Pomareda et al., 2014), generando un patrón de transformación denominado “espina de pescado” (Foto 3), común en áreas amazónicas de Brasil y Ecuador (Etter et al., 2006; Rodríguez-Eraso, Rincón-Ruiz, Romero-Ruiz, & Bernal-Suárez, 2006). Otros efectos de cambio de uso y ocupación del territorio son: la urbanización no planificada, la migración de mano de obra y el desplazamiento de las economías de subsistencia (Pomareda et al., 2014). Aunque estos efectos usualmente caen por fuera de la

responsabilidad del sector transporte, deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar los planes de ordenamiento territorial y los estudios de impacto ambiental (Iuell et al., 2003).

Foto 3. Fotografía satelital del efecto de “espina de pescado” generado por las infraestructuras viales en Colombia.



Fuente: Tomada de Google Earth Engine.

5.4 Efectos de filtro y de barrera

Las infraestructuras viales actúan como una barrera ya que generan una restricción al movimiento natural de las especies animales a través de los hábitats, esta limitación puede ser total (barrera) o parcial (filtro) (Foto 2 y Foto 4). La barrera o filtro al movimiento animal también se presenta cuando estos mismos evitan los espacios adyacentes a las vías donde se generan la mayoría de perturbaciones antrópicas, como zonas donde se ha realizado o se esté realizando el desmonte de vegetación, zonas ruidosas o muy iluminadas, donde se esté construyendo, removiendo material o en las zonas de camping del personal (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; Quintero, 2016; van der Ree et al., 2015) .

El grado de severidad del efecto barrera depende en gran medida de las características de la vía y de las especies animales que habitan los ecosistemas adyacentes. Las principales características de la vía a tener en cuenta son: 1) El ancho de la vía --ya sea pavimentada o no--(Foto 4 y Foto 5), 2) El volumen o intensidad de tráfico vehicular y 3) La existencia o no de estructuras para el cruce de fauna (pasos de fauna). Adicionalmente, como fue mencionado, la severidad del efecto de barrera o filtro será

diferente según la ecología y la biología de las especies animales afectadas.

Algunos factores que pueden influir son:

- 1) Las exigencias de hábitat de la especie.
- 2) El tipo de movilidad (diaria o estacional migración).
- 3) Su capacidad de dispersión.
- 4) Sus hábitos.
- 5) Su tipo de forrajeo*.

* (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; van der Ree et al., 2015)

Foto 4. Las características de la vía determinan la intensidad del efecto barrera. A. Fotografía de una vía de doble sentido no pavimentada. B. Fotografía de una vía de doble sentido pavimentada.



Fuente: autores.

El efecto barrera generado por las infraestructuras viales afecta negativamente tanto especies animales grandes como pequeñas. Todas las especies animales sean de pequeño (artrópodos marchadores, anfibios y micromamíferos) o gran tamaño, son afectadas ya que estos organismos necesitan territorios para desplazarse, y rutas de dispersión o migración, los cuales se ven escindidos por las carreteras (Fahrig & Rytwinski, 2009; Mader, Schell, & Kornacker, 1990; Oxley, Fenton, & Carmody, 1974; Sillero, 2008). Se ha observado que el tipo de movilidad también puede influir, a nivel Colombia, las aves generalmente son la segunda clase animal más afectada, independientemente de su tipo de movilidad, estas no logran escapar de la muerte y son arrolladas ya que colisionan con los parabrisas de los vehículos cuando forrajean sobre las vías.

El efecto barrera generado por las carreteras puede llevar al aislamiento genético entre las poblaciones afectadas, las cuales permanecen aisladas unas de otras en los parches de hábitats, como se ha observado en el caso de caracoles terrestres, roedores y grandes mamíferos (Balkenhol & Waits, 2009; Sawaya, Kalinowski, & Clevenger, 2014).

Foto 5. Las características de la vía pueden determinar la intensidad del tráfico vehicular y, por lo tanto, la intensidad del efecto barrera. Fotografía de un tramo de la Gran Vía Yuma en el departamento de Santander.



Fuente: MinTransporte.

5.5 Contaminación química, lumínica y sonora

La construcción y operación de las infraestructuras viales altera las características ecológicas de los hábitats adyacentes y a su vez inducen un cambio en la manera en cómo los va a usar la fauna silvestre.

5.5.1 Contaminación química

Una amplia gama de contaminantes proviene de la superficie de la vía y del tráfico vehicular que circula sobre la misma. La contaminación del aire, el agua y el suelo se presenta por partículas químicas y por los gases que salen de los tubos de escape de los vehículos, los metales pesados, las sales, los hidrocarburos (por ejemplo, residuos de caucho y derivados del petróleo) y los residuos sólidos desechados de los vehículos y por las personas que circulan en las vías. Estos químicos y residuos afectan los ecosistemas adyacentes a la infraestructura vial, contaminan las fuentes de agua superficial y subterráneas, el suelo y la vegetación a lo largo de las vías (Foto 6) (Forman & Deblinger, 2000; Iuell et al., 2003; Pomareda et al., 2014; Quintero, 2016).

Foto 6. Contaminación de partículas en las vías. El polvo es transportado por los vehículos que circulan las vías y este se deposita en la vegetación de borde.



Fuente: autores.

5.5.2 Contaminación lumínica y sonora

El ruido causado por los vehículos que transitan la carretera tiene grandes impactos en la fauna silvestre, algunas especies evitan activamente las áreas ruidosas reduciendo significativamente sus áreas de actividad y adicionalmente, la reproducción se ve afectada debido a complicaciones en la comunicación durante la época reproductiva, a la pérdida de la audición y a un aumento de las hormonas del estrés (Forman & Alexander, 1998; Forman et al., 2003; Quintero, 2016; van der Ree et al., 2015). El disturbio por ruido está influenciado por el tipo de tráfico vehicular y su intensidad, la topografía de la zona, las propiedades de la superficie de la vía y la estructura de la vegetación adyacente (Iuell et al., 2003; Quintero, 2016). La iluminación que producen los vehículos circulando en la noche, así como el alumbrado público puede tener un efecto igual al del ruido, afectando el comportamiento normal de las poblaciones animales, además, puede inducir un efecto de parálisis en algunas especies, como la zarigüeya común, que permanece estática frente a la presencia de peligro y de esta manera es atropellada.

5.6 Mortalidad de fauna silvestre por atropellamiento

El atropellamiento es uno de los aspectos más evidentes y conocidos si se compara con la contaminación o la división de los hábitats, debido a que diariamente se observan cuerpos de animales muertos en las vías. Las investigaciones realizadas en países como Estados Unidos y Brasil publican cifras alarmantes de la cantidad de animales que mueren anualmente en las carreteras. Los estimados reflejan un sesgo hacia mamíferos grandes siendo menos frecuentes los registros de anfibios, aves, pequeños mamíferos y reptiles, probablemente estos patrones pueden depender de la capacidad de detectabilidad de los cuerpos de animales más pequeños, los cuales pueden desaparecer más rápidamente debido al alto flujo vehicular, las condiciones ambientales y a los animales carroñeros (Teixeira, Coelho, Esperandio, & Kindel, 2013). En Brasil se han estimado un total de 475 millones de animales atropellados al año (Bager et al., 2016), mientras que en Estados Unidos se estima que mueren cerca de 365 millones de animales silvestres al año (Davenport & Davenport, 2006), por otro lado, en Australia se estima que cinco millones de ranas y reptiles mueren en sus carreteras y en Bulgaria se ha calculado que al menos siete millones de aves

pierden la vida anualmente (Forman & Alexander, 1998).

Foto 7. Reporte de atropellamiento en una vía del departamento de Antioquia, Colombia.



Fuente: autores.

En Colombia, es todavía incipiente la toma de datos de atropellamiento de fauna y hasta el momento no existe una tasa de atropellamiento estimada a nivel nacional, sin embargo, se cuenta con datos puntuales de investigaciones en diferentes carreteras del país, así como, la

información recopilada a través de la App RE-COSFA, mediante la cual se han reportado un total de 5.600 incidentes de animales atropellados (Foto 7) entre los años 2014 y 2019, de los siguientes grupos taxonómicos: mamíferos (45%), aves (32%), anfibios (15%) y reptiles (8%). Así mismo, dentro del trabajo realizado por el ITM (PECIV), se llevó a cabo la investigación titulada “Evaluación del impacto de la infraestructura vial sobre la mortalidad de vertebrados y posibles medidas para la conectividad ecológica del paisaje en el Valle de Aburrá” en el Oriente Antioqueño, donde se monitorearon 142 km de carreteras entre los municipios de Medellín, Envigado, El Retiro, La Ceja, La Unión, El Carmen de Viboral y Rionegro. En este estudio se calcularon los estimados de mortalidad anual usando parámetros de corrección para cada clase taxonómica según (Teixeira et al. (2013), con los siguientes resultados: Anfibios: 551.078, Aves: 19.204, Mamíferos: 3.774 y Reptiles: 1.228, para un total estimado de 575.284 animales atropellados en la zona de estudio.

Según estudios realizados en Brasil, los anfibios son los animales con la menor probabilidad de ser detectados durante un muestreo en auto. Esto hace necesario asociar un factor de corrección considerable al conteo (Teixeira, Coelho, Esperandio, & Kindel, 2013)

Los factores que influyen en la tasa o frecuencia de los atropellamientos de fauna silvestre han sido evaluados en diferentes estudios. Algunos factores pueden definir la cantidad y concentración de atropellamientos como la temperatura ambiente, la precipitación, la temporada climática, la hora del día, el tráfico vehicular y su intensidad, la velocidad máxima permitida y la biología, y ecología de las especies que habiten los ecosistemas adyacentes (Luell et al., 2003; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; Quintero, 2016). El paisaje adyacente a la carretera también puede ser un factor importante, ya que las carreteras cruzan la mayoría de los ecosistemas naturales terrestres y acuáticos (bosques, sabanas, pantanos, lagunas, entre otros) esta característica las convierte en barrera o amenaza para los animales que necesitan moverse en busca de recursos (Luell et al., 2003).

Otro factor importante es la densidad poblacional de las especies afectadas, ya que no todas las especies serán igualmente afectadas por la pérdida de sus individuos. Se han identi-

ficado tres grupos de riesgo principales (Fahrig & Rytwinski, 2009; Luell et al., 2003):

- Especies que son atraídas por las carreteras y son incapaces de evitar los automóviles (anfibios, reptiles y carroñeros).
- Especies con grandes áreas de movimiento, bajas tasas de reproducción y bajas densidades poblacionales, como los grandes mamíferos (osos y felinos).
- Especies que tienen movimientos migratorios diarios o estacionales entre hábitats locales.

En Colombia es incipiente el entendimiento sobre cuáles son las poblaciones animales más afectadas, qué variables intervienen en el atropellamiento y, cómo y dónde se pueden implementar medidas de prevención y mitigación eficaces. De acuerdo con los datos de la App RE-COSFA, las especies más atropelladas son: la zarigüeya común (*Didelphis marsupialis*), el zorro perro o zorro cangrejero (*Cerdocyon thous*), el oso melero (*Tamandua spp.*), la ardilla de cola roja (*Notosciurus granatensis*) y la Iguana verde (*Iguana iguana*) entre otras. Para determinar cuáles de estas especies son las más afectadas por la problemática, y cuáles son las variables que pueden influir en el mayor o menor número de atropellamientos, es necesario realizar estudios más robustos a nivel nacional.

5.7 Los procesos en los márgenes: nuevos hábitats y corredores biológicos

Las carreteras tienen márgenes donde se encuentran las cunetas, lugares que se caracterizan por la presencia de áreas sembradas y encharcamientos gracias a la precipitación. A estas zonas generalmente se les realiza manejo periódico, donde el personal de operación y mantenimiento de las concesiones viales y del INVIAS recorren las carreteras realizando deshierbe y limpieza de bermas (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010), de lo contrario se presentan la creación de nuevos hábitats pequeños.

La creación de estos nuevos hábitats (microhábitats) pueden ser favorables para ciertas especies de animales o plantas sin muchas exigencias para proliferar. En algunos márgenes de las carreteras crecen plantas herbáceas que se convierten en microhábitats aprovechables para determinados insectos o pequeños vertebrados (mamíferos, reptiles y anfibios) que, a su vez, atraen a sus depredadores y esta actividad puede aumentar sus tasas de mortalidad por atropellamiento (Foto 8) (Forman et al., 2003).

Los márgenes de la infraestructura vial pueden adquirir una función de corredores, estos pue-

den estimular el movimiento de la fauna y de las semillas de flora silvestre o introducidas a lo largo de la ruta (Foto 8). Se ha encontrado que diversos vertebrados, incluyendo carnívoros raros o amenazados, utilizan los márgenes de las carreteras mantenidos con una vegetación herbácea para su dispersión (Forman et al., 2003). El uso normal de las vías puede facilitar la expansión de especies arvenses o de especies exóticas e invasoras, que son dispersadas por el viento generado por el tráfico o en los mismos vehículos y también arrastradas por la

escorrentía en las bermas y cunetas.

La construcción de las carreteras permite el acceso del ser humano a zonas donde antes no había logrado llegar por las condiciones agresivas del terreno, estas funcionan de la misma forma para las poblaciones animales, las cuales encuentran rutas para desplazarse a sitios a los cuales antes no tenían acceso debido a las barreras naturales (Iuell et al., 2003; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; Quintero, 2016).

Foto 8. Microhábitats que se crean a los márgenes de la vía, gracias al crecimiento de vegetación y encharcamiento después de las lluvias.



Fuente: autores.

6. Conectividad Ecológica





Fuente: Concesión La Pintada.

6. Conectividad Ecológica

La fauna silvestre necesita moverse: se mueven de un lugar a otro para acceder a lugares de donde obtienen alimento, refugio, para procrear con poblaciones diferentes y garantizar el flujo de genes o para establecer nuevos territorios. Un paisaje conectado permite que los organismos se muevan y también se adapten a condiciones cambiantes como factores de estrés y cambio climático. El concepto de conectividad ecológica se refiere al grado en que un paisaje facilita o impide el desplazamiento y dispersión de las especies (Tabor, Ament, McClure, Callahan, & Reuling, 2014). La conectividad ecológica incluye componentes tanto estructurales (espaciales) como funcionales (un organismo o grupo en particular).

- **La conectividad estructural o espacial:** sólo tiene en cuenta la relación física de cercanía entre parches de un hábitat determinado en el paisaje. A mayor separación menor conectividad (Foto 9).
- **La conectividad funcional:** tiene en cuenta lo que necesita un grupo de organismos y describe el grado en que los paisajes facilitan o impiden procesos ecológicos y el movimiento de estos organismos a través de los parches de determinada vegetación (Tabor et al., 2014; Valladares, Gil, & Forner, 2017). En un sentido más amplio también se requiere conectividad ecológica en el paisaje para el movimiento en los flujos de nutrientes, flujos de energía, polinización, dispersión de semillas, relaciones predador-presa, y muchos otros procesos ecológicos.

Foto 9. Conectividad estructural. Las copas de los árboles a lado y lado de la vía se conectan, sirviendo como paso seguro para el desplazamiento natural de especies animales con hábitos arborícolas y semiarborícolas.



Fuente: autores.

6.1 Conceptos clave de la conectividad ecológica

Otros términos relacionados con la conectividad ecológica son:

- **Corredor:** Es un componente distintivo del paisaje que une diferentes parches de hábitat y proporciona conectividad porque reúnen las condiciones necesarias para el movimiento de animales, de plantas o procesos ecológicos. (Tabor et al., 2014; Valladares et al., 2017).
- **Permeabilidad:** Puede ser considerada un sinónimo de conectividad y se refiere al grado en que los paisajes regionales (que incluyen una variedad de coberturas naturales, seminaturales y artificiales) pueden conducir o facilitar el movimiento de la vida silvestre y sostener procesos ecológicos. Por otro lado, el término también se usa con relación a las barreras lineales (carreteras, ferrocarriles, etc.) al considerar cuánto obstaculizan o benefician el paso de las especies (Tabor et al., 2014; Valladares et al., 2017).
- **Red ecológica:** Incorpora varios elementos clave:

- 1) Unas áreas centrales de conservación (áreas boscosas, áreas de conservación local para el agua, por ejemplo)
- 2) Corredores que conectan esas áreas de conservación (cercas vivas, ríos con bosques en sus rondas, franjas de terreno plantadas para tal fin)
- 3) Zonas de amortiguamiento y uso sostenible en terrenos productivos; y
- 4) Factores socioeconómicos (poblaciones, producción agropecuaria, carreteras, etc.)

Para aumentar la conectividad se deben usar dos estrategias combinadas para producir los mejores resultados:

- 1) Conservar las áreas que facilitan el movimiento, y
- 2) Mitigar las características del paisaje que impiden el movimiento, como la infraestructura vial (Tabor et al., 2014; Valladares et al., 2017).

6.2 Relación entre conectividad ecológica y mitigación del atropellamiento

Las infraestructuras viales generan una disminución en la conectividad ecológica del paisaje y como vimos, tienen un efecto de barrera o filtro para el desplazamiento y flujo genético de los animales, a esto se suma la mortalidad de fauna silvestre por atropellamiento y el riesgo para la seguridad vial de los usuarios de las vías.

En un proyecto particular de infraestructura vial, carretera o ferrocarril, el objetivo principal a nivel ambiental debe ser que dicha infraestructura siga siendo permeable para la vida silvestre y así asegurar la conectividad de los hábitats a una escala mayor. La permeabilidad puede ser lograda a través de la utilización de todos los elementos de conexión que tiene una vía como túneles, viaductos, cruces de ríos y arroyos, alcantarillas, box culvert y pasos de fauna especialmente diseñados para este propósito. Los pasos de fauna en las carreteras son elementos claves para reconectar hábitats facilitando el movimiento de los animales que buscan cruzar una carretera y disminuyendo la probabilidad de que estos se encuentren en las vías (Iuell et al., 2003).

Las medidas de mitigación, en particular los pasos de fauna son aún más necesarias si la infraestructura de transporte divide grandes zonas de un hábitat importante, si crea una barrera a las rutas de migración diaria o estacional. Los pasos de fauna son necesarios en los siguientes escenarios: a) Una carretera afecta a especies especialmente sensibles a las barreras y la mortalidad por atropellamiento. b) La permeabilidad general del paisaje se ve significativamente afectada por el desarrollo de la infraestructura. c) En un contexto específico se considera que los pasos de fauna son una solución adecuada para mitigar el efecto barrera (Iuell et al., 2003).

Debido a las limitaciones de presupuesto, generalmente es necesario priorizar los lugares donde sería más efectivo habilitar pasos de fauna para mitigar el efecto barrera y restaurar la conectividad. Para esto, a nivel de paisaje se pueden hacer los análisis de las redes de hábitat para jerarquizar los lugares potenciales para generar permeabilidad. También, a un nivel local, se puede evaluar el atropellamiento de fauna y los pasos naturales en un tramo de carretera dado.



7. Metodologías para la evaluación del atropellamiento de fauna silvestre



Fuente: autores.

7. Metodologías para la evaluación del atropellamiento de fauna silvestre

El grueso de este capítulo se escribió con base en los siguientes documentos:

“Protocolo de monitoreo de fauna atropellada: Una propuesta unificadora” (Bager y Castro 2018)

La guía ambiental “Vías Amigables con la Vida Silvestre” (Pomareda et al. 2014)

La guía “Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions” (Iuell et al. 2003)

También, se utilizó la experiencia recolectada por el equipo de trabajo de Ecología de Carreteras de la Institución Universitaria ITM, además de otras referencias puntuales que se encontrarán en el texto.

Existen numerosas metodologías para evaluar el atropellamiento de fauna silvestre, así como para identificar los puntos donde se concentran la mayoría de los puntos de atropellamiento y para determinar cuáles son las variables que pueden influir en las tasas de atropellamiento. Estas metodologías se aplicarán según el proyecto en particular que se esté evaluando (Artavia, 2015).

A continuación, se presentan recomendaciones metodológicas para la captura de los datos de atropellamiento de fauna, con el fin de asegurar su buena calidad y su uso en los análisis, con el fin de identificar las zonas críticas y tasas de atropellamiento.

7.1 Generalidades importantes para tener en cuenta

7.1.1 Tipos de muestreo

- **Muestreo sistemático:** Se recomienda que el monitoreo sea sistemático, es decir, por un periodo de tiempo de mínimo 6 meses (idealmente 12 meses) con un esfuerzo de muestreo constante (diario, semanal, quincenal o mensual todo dependerá del presupuesto) para poder definir los puntos donde exista una mayor cantidad de atropellamientos de fauna silvestre o puntos críticos. También, es importante que el equipo de trabajo sea el mismo, donde cada observador tenga el mismo rol y que se sigan los mismos protocolos durante cada censo (como se explicará en la sección 7.2), para reducir el sesgo a la hora de realizar los análisis. Un monitoreo sistemático requiere dedicación, infraestructura, personal y tiempo. Un monitoreo sistemático genera información de mejor calidad que un monitoreo eventual o puntual.

- **Muestreo eventual/puntual:** Los datos que provienen de monitoreos eventuales pueden ofrecer información sobre las especies más afectadas y áreas con mayor incidencia de atropellamientos. Sin embargo, los datos serán poco efectivos si el objetivo es hacer comparaciones entre diferentes carreteras o tramos de la misma carretera, así como para entender qué pasa en diferentes periodos de tiempo o para cuantificar el atropellamiento de fauna (van der Ree et al., 2015).

7.1.2 Definición del área de muestreo

Según su complejidad, una carretera se compone de varias partes: la calzada (por donde circulan los vehículos), áreas de descanso y bermas, cunetas, taludes, andenes y senderos peatonales, separadores, entre otras (Foto 10) (INVIAS, 2011); por lo tanto, un tramo de carretera puede variar mucho respecto de cualquier otro en las características mencionadas.

Foto 10. Partes de una carretera: calzada, bermas, cunetas, taludes, entre otros. Foto tomada en vía concesionada en el departamento de Antioquia, Colombia.



Fuente: autores.

Si el muestreo se realiza incluyendo todas las áreas mencionadas, la probabilidad de detección variará y no será posible corregir esa información posteriormente y tampoco comparar la información obtenida con otros estudios. El problema con estas variables es que los lugares con ciertas características como carriles más anchos, zonas con vegetación adyacente más alta o ausencia de cunetas pueden ser erróneamente identificadas como puntos calientes de atropellamiento.

Por esta razón se recomienda hacer un buen muestreo que incluya el área de las bermas y cunetas, ya que muchos animales se pueden encontrar en estas secciones de la vía, porque algunos no mueren instantáneamente, principalmente los de gran tamaño corporal y, pueden desplazarse unos metros y morir en estas áreas cercanas a la vía.

Existe una premisa importante en el muestreo: **un tramo de carretera es un transecto y cada transecto debe ser independiente de otro transecto**, por lo tanto, no se pueden realizar monitoreos sistemáticos en una misma carretera de ida y de vuelta. Los animales encontrados por el observador oficial en el trayecto de punto inicial a punto final son datos sistemáticos, otros animales encontrados al regreso son datos eventuales y deben ser registrados aparte.

ATENCIÓN: Las carreteras de 4 carriles con división central pueden ser consideradas como dos transectos independientes y todos los registros serán datos sistemáticos.

7.2 Metodología para los recorridos de muestreo de atropellamiento

El siguiente es un paso a paso metodológico para realizar censos de fauna atropellada.

7.2.1 Establecer los objetivos del muestreo

Es importante establecer el objetivo del estudio para lograr una adecuada planeación de los monitoreos, que permitan recopilar información suficiente para apoyar los análisis dirigidos a resolver nuestra pregunta de investigación. El monitoreo de fauna atropellada puede tener como objetivo:

- a) Determinar las especies afectadas por el atropellamiento.
- b) Determinar la abundancia relativa de las especies más afectadas.
- c) Identificar variables (técnicas de la vía y/o ambientales) que puedan estar relacionadas con el atropellamiento de fauna.
- d) Identificar cruces naturales de fauna silvestre a través de análisis de conectividad y puntos críticos de atropellamiento.

7.2.1.1 Preparativos para la realización de los muestreos

Se recomienda siempre realizar una salida previa o salida de caracterización, en la cual se identifiquen los actores sociales pertinentes en la zona de influencia del proyecto que se vaya a monitorear, como operadores viales, corporaciones autónomas regionales (CAR), policía de carreteras, empresas de transporte que frecuentan la vía, pobladores locales, así como, concededores de la fauna y flora propia de la zona. Adicionalmente, se sugiere verificar que entidad tiene a cargo la vía y por lo tanto su operación y mantenimiento (sea una entidad pública o privada). Lo anterior con el fin de que la entidad a cargo sea informada del estudio

que se va a realizar y que puedan involucrarse de alguna manera en el estudio y que también puedan informar al personal de operación y mantenimiento para que no retire los cuerpos de los animales atropellados horas previas al muestreo.

7.2.1.2 Definir el tramo de la vía para realizar el muestreo

Se recomienda siempre priorizar la frecuencia de recorridos sobre los kilómetros a monitorear, por ejemplo, con un presupuesto dado se puede hacer un único monitoreo o recorrido al mes con una longitud de 500 km; o dividir la vía en tramos de 100 km y realizar 1 monitoreo a cada tramo en ese mes, se recomienda priorizar siempre la segunda opción. Además, se sugiere que la frecuencia de recorridos sea entre 2 y 4 veces por mes (dependiendo de la longitud de la zona de estudio). La experiencia del PECIV sugiere que un tramo de 150 km puede ser recorrido por 2 observadores (independientes del conductor) en un vehículo a 20 km/h en un lapso de 12 horas de monitoreo.

En cuanto al horario, las primeras horas del día (6-9 a.m.) son mejores para disminuir la probabilidad de que los cuerpos sean retirados de la vía (por personal que realiza el mantenimiento) o comidos por otros animales carroñeros. En las

tardes (4-6 p.m.) se podrán registrar aquellos incidentes que ocurran en el transcurso del día. Adicionalmente, al tener en cuenta estos horarios se tiene la posibilidad de registrar la mortalidad de las especies que tengan hábitos tanto diurnos como nocturnos, ya que, la hora del día influye en el tipo de especies que tendrán actividad, las especies que según sus hábitos estén en busca de recursos y dispersión serán las que sean vulnerables a ser atropelladas.

7.2.1.3 Equipo de trabajo, de seguridad y de campo

Algunas guías recomiendan que el equipo sea de dos personas, una persona manejando el vehículo y la otra persona dedicada exclusivamente al registro, mientras que otras recomiendan 3 personas. En cualquier caso, se recomienda que sean las mismas personas durante todo el tiempo que dure el estudio.

Se piensa que a mayor número de personas se tiene mayor probabilidad de detección, sin embargo, solo es cierto para la cantidad de registros, pero no para la calidad de los datos. El objetivo de un muestreo no es solamente coleccionar el mayor número de cuerpos sino lograr una tasa de detección constante durante toda la duración del estudio para poder hacer comparaciones confiables.

Se recomienda que, durante los recorridos en automóvil o moto, el conductor no sea el encargado de registrar los atropellamientos o avisamientos para evitar siniestros viales. Es muy importante que el investigador preste mucha atención a los vehículos en todo momento. Recomendamos los siguientes implementos para el equipo de seguridad y de campo (Foto 11).

Equipo de seguridad:

- Casco
- Gafas protectoras
- Chalecos reflectivos
- Conos reflectivos de seguridad vial
- Botiquín
- Linterna de cabeza
- Luces para señalar el automóvil
- Paleta de tránsito (Pare/Siga)
- Seguro contra accidentes
- Cada integrante del equipo de trabajo debe tener ARL

Equipo de campo:

- Mapa de la zona a muestrear (impreso o digital)
- Planillas (físicas o digitales) y lápiz
- GPS
- Cámara fotográfica
- Baterías para los equipos (2 juegos por equipo)
- Regla o algún implemento para ser usado como escala en la foto del incidente
- Guantes de caucho
- Bolsas rojas
- Pie de rey
- Flexómetro

Foto 11. Grupo de trabajo utilizando el equipo de seguridad vial y de campo, durante salida de monitoreo. Los chalecos reflectivos, los conos reflectivos de seguridad vial y la paleta de tránsito (pare/siga) son indispensables para evitar siniestros viales en la vía cuando se estén realizando los monitoreos.



Fuente: autores.

7.2.2 Recorridos

Una vez establecido el área de muestreo y sus tramos, el recorrido se puede hacer a pie, en bicicleta, en moto o en carro. Previamente se debe contactar a la autoridad de tránsito de la zona para darles a conocer el proyecto y se les entregará un cronograma de muestreo. Si los recorridos se hacen en vehículo se recomienda que sea a una velocidad entre 20 y 30 km/h, y siempre siguiendo todas las recomendaciones de seguridad y acatando las señales de tránsito en la vía. Es importante mencionar que en algunas carreteras no es posible transitar a esa velocidad (20o 30 km/h) por el volumen de tráfico o por sus características técnicas, en estos casos siempre la seguridad del equipo y de los demás usuarios de las vías está en primer lugar, por lo cual se sugiere transitar a la velocidad sugerida en el sector.

ADVERTENCIA: Con el objetivo de evitar siniestros viales, la persona que conduce debe hacerlo con prudencia y estar alerta, ante la presencia de otros actores viales y fauna silvestre.

Los monitoreos que son realizados a pie, en bicicleta o en moto pueden aumentar la probabilidad de encontrar atropellamientos. Los monito-

reos a pie permiten identificar mayor riqueza de especies (anfibios, aves, pequeños mamíferos y reptiles) que, con los monitoreos realizados en carros, sin embargo, puede ser más complicado monitorear mayor cantidad de kilómetros de esta forma. Determinar cómo realizar los censos depende de la longitud de la zona de estudio (km) y de la disponibilidad de recursos. Estudios han demostrado que la detección de animales de tamaño pequeño es siempre subestimada si se compara con la de animales de tamaño mediano o grande. Por esta razón, se recomienda el no incluir datos de mortalidad de pequeños vertebrados cuando el protocolo de monitoreo utilice sólo vehículos motorizados a cualquier velocidad y no incluya recorridos a pie o en bicicleta a menos de 20km/h. Lo anterior con el fin de evitar que se afirme erróneamente que la mortalidad de anfibios, aves, pequeños mamíferos y reptiles es significativamente menor que otras especies de mayor tamaño. No obstante, también se puede seguir la recomendación de Teixeira, Coelho, Esperandio y Kindel en el 2013 y dejar unas carcasas (cuerpo) en la vía para observar el tiempo de degradación en esa zona específica) y su probabilidad de detección, para realizar correcciones y poder hacer los censos comparables en términos de estimación de mortalidad.

Por último, es muy importante registrar la velocidad a la cual se hizo el monitoreo y que se mantenga esa velocidad todas las veces que se vaya a censar/monitorear.

7.2.3 Características técnicas de la vía y ambientales

Existen variables que deben ser tomadas durante los monitoreos, como requisito mínimo para garantizar la buena calidad del trabajo, sea un estudio de impacto ambiental o una investigación.

7.2.3.1 Condiciones técnicas de la vía

Se recomienda anotar las siguientes variables técnicas de la vía, al momento de registrar un atropellamiento:

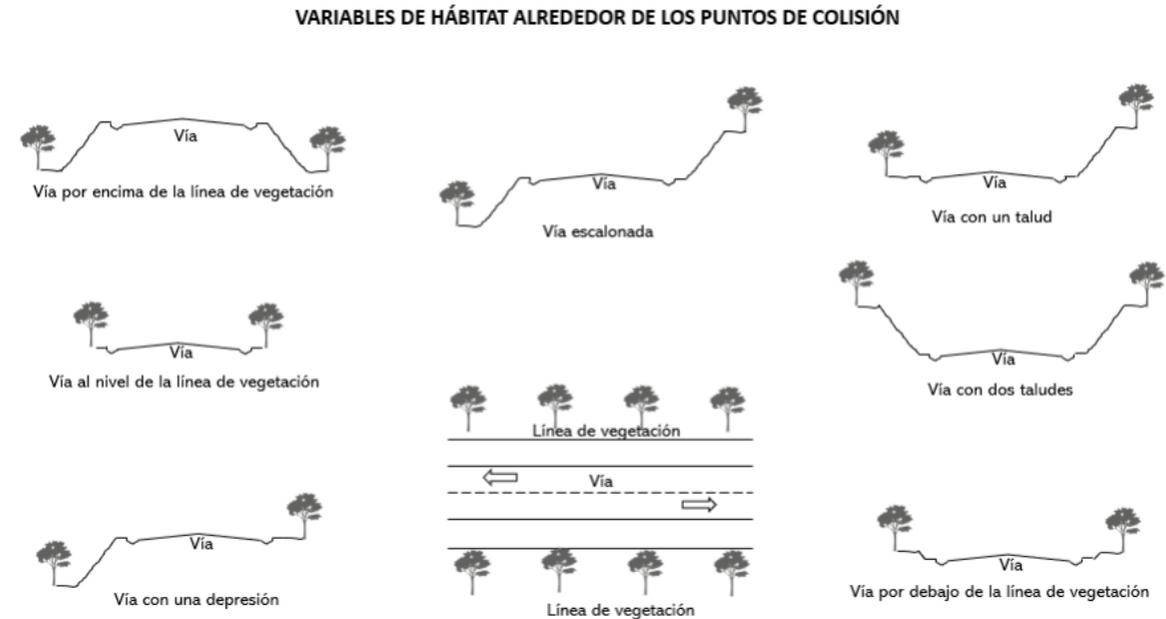
Variables físicas y técnicas de la vía de estudio

1. Coordenadas geográficas del atropellamiento (latitud y longitud)
2. Altitud de la zona de estudio (m.s.n.m.)
3. Hora y fecha del momento en el que se encontró el atropellamiento
4. Clasificación de la vía (primaria, secundaria, terciaria)

5. Kilómetro o abscisa
6. Nombre de la vía (o municipio)
7. Número de carriles
8. Paisaje y / o Vegetación adyacente
9. Pendiente, si existe curva vertical (grados)
10. Peralte (porcentaje)
11. Tipo de curvatura (radio pequeño, radio grande, no posee)
12. Velocidad máxima permitida
13. Como se encuentra alineada la vía con respecto a la zona adyacente

Si se encuentra en línea con la vía (a nivel), elevada o por encima de la vegetación, hundida o por debajo de la vegetación, con un corte lateral o con dos, entre otras (Figura 2).

Figura 2: Ilustración de cómo podría encontrarse la vía con respecto a la vegetación adyacente.



Adaptada de Langen & Sáenz (2009).

7.2.3.2 Condiciones ambientales

Se recomienda medir **temperatura ambiente, humedad y precipitación** estas variables del ambiente influyen en el comportamiento de la fauna y podrían influir en el número de atropellamientos, así como en la persistencia de las carcasas (cuerpo) sobre la vía. Existen muchas formas de obtener estos datos, a través de estaciones meteorológicas de universidades, cen-

tros de investigación o de un campo. En Brasil adoptaron la utilización de un Termohigrómetro datalogger, otra forma es tener en cuenta la variable temporada climática ya que en algunas regiones del país el régimen de lluvias es bimodal (dos temporadas secas y dos lluviosas) y en otras es monomodal (dos temporadas secas y una lluviosa) (Guzmán, Ruíz, & Cadena, 2014). Sin embargo, como hay que tener en cuenta los Fenómenos del Niño y de la Niña al momento

de hacer los muestreos, sería útil poder medir la temperatura independientemente de los regímenes esperados de lluvias.

7.2.4 Protocolo para toma de datos del animal atropellado

1. En primera instancia se debe garantizar la seguridad del equipo de trabajo y de los usuarios de la vía, con este fin enlistamos las siguientes recomendaciones:
 - a. Seleccionar un lugar seguro para estacionar el vehículo.
 - b. Ubicar conos de seguridad 30m antes y después del vehículo, delimitando un área de seguridad.
 - c. Todo el equipo de trabajo debe utilizar chalecos reflectivos y estar siempre atentos al tráfico vehicular.
 - d. Utilizar paletas viales (PARE, SIGA), especialmente en las zonas donde haya curva y en los momentos donde se estén tomando los datos del animal encontrado.
2. Después de tener todas las precauciones de seguridad, realice el registro fotográfico del animal encontrado.

Las fotografías de los individuos (cuerpo del animal) deben ser analizadas por expertos en cada clase animal para su identificación taxonómica. La foto debe ser nítida, tener una escala de medida y debe ser tomada de manera que se pueda observar la morfología del animal (foto ventral, dorsal, cabeza, patas). Recuerde que cada grupo tiene características importantes para su identificación.

3. Registre la posición geográfica (Latitud y Longitud) del incidente encontrado con un GPS, posteriormente anote las coordenadas en la planilla física como soporte.
4. Anote fecha (día, mes, año) y número de registro (asociado a los números de las fotografías de cada atropellamiento). Cada día de monitoreo se debe empezar la planilla con el número 1.

Para tener un diseño experimental sólido y acorde al objetivo, antes de realizar un muestreo es importante definir su objetivo, si se trata de conteo de atropellamiento o para identificación de variables ambientales o técnicas de la vía, entre otras.

5. Del animal atropellado se debe registrar: el estado de desarrollo biológico (juvenil o adulto)¹, sexo, variables morfométricas, clase (anfibio, ave, mamífero, reptil, invertebrado), familia, género o especie (en caso de conocerlo) nombre común y tiempo estimado de atropello.
6. Registre además fotos de la vía y del paisaje o vegetación adyacente a la carretera donde se encontró el animal.
7. En caso de que el proyecto, investigadores o equipo de trabajo cuenten con los permisos correspondientes para toma y transporte de muestras biológicas, estas podrán ser recolectadas, siguiendo los protocolos necesarios para su análisis.
8. Por último, retire el animal de la vía con el fin de que el conteo no sea duplicado y para evitar una cadena de atropellamientos, ya que los animales carroñeros se

1 Los investigadores normalmente no son expertos en todas las clases animales y muchas especies presentan diferencias fenotípicas entre sus estadios juveniles y adultos. Las fotografías deberán ser analizadas por expertos que sí puedan decir si es un juvenil o no.

verán atraídos al cuerpo del animal atropellado. Si la carcasa es muy grande es recomendable hacer una marca con un espray o avisar al personal de la concesión o entidad que está a cargo de la vía para que lo recoja.

Anotaciones para mejorar la calidad de los datos GPS:

- Siempre registrar las coordenadas GPS del punto en el que se encuentra el animal atropellado y anotar de forma evidente en la planilla de datos el datum del sistema de coordenadas utilizado (WGS84 u otro). Con frecuencia los equipos de las concesiones viales usan la abscisa como ubicación del animal atropellado, este método genera un error elevado a la hora de definir puntos exactos de la localización de los incidentes y dificulta el análisis por equipos externos.
- Es fundamental que en todos los monitoreos realizados se use el mismo datum y que esta información esté disponible en el banco de datos para uso posterior.
- **Almacenar tracks y waypoints en el GPS:** Todos los track y waypoints del GPS deben ser almacenados y enviados en medio digital juntamente con la planilla de

datos. Incluir en los estudios de impacto ambiental y en el monitoreo de la vía la obligatoriedad de usar tracks y waypoints.

7.2.5 Información complementaria aportada por los pobladores locales

Para lograr establecer los puntos críticos de atropellamiento de fauna silvestre, también es útil la información que los pobladores locales posean y con esta realizar un Diagnóstico Rápido Participativo (DRP). El DRP es una herramienta propia de la Investigación Acción participativa (IAP), en la cual se obtiene información de las comunidades para llegar a un autodiagnóstico, levantando información de manera colectiva y rápida. En este caso específico permitirá desarrollar procesos de reconocimiento de los efectos que ha tenido la infraestructura vial sobre las poblaciones de fauna silvestre de la zona de incidencia, analizando la situación, lo cual permite generar alternativas de solución factibles a partir de la experiencia y conocimiento de los participantes. Dentro de los instrumentos que se pueden utilizar para el DRP se encuentran las entrevistas semiestructuradas, el mapa participativo donde se pueden visualizar los cruces de la fauna y generar posibles puntos de observación e intervención, recorridos y

los mapas de cronologías de acontecimientos, momentos o experiencias históricas sobre la temática en cuestión en la zona.

En la entrevista, la persona puede identificar en cuales puntos de la carretera ha visto animales atropellados, o animales cruzando (avistamiento), sus huellas u otros rastros. Durante el período del estudio pueden igualmente reportar cualquier actividad de fauna en la vía. Es importante utilizar una guía visual de animales silvestres presentes en la zona, así como, un mapa de la carretera con puntos conocidos por los encuestados, para poder aportar puntos más exactos. De existir la posibilidad sería muy interesante registrar los atropellamientos por medio de la App RECOSFA como un ejercicio de ciencia ciudadana, donde se han ido recopilando datos de atropellamiento registrados por personas del común, investigadores, entes gubernamentales y privados en las vías del país, con el fin de realizar análisis que permitan entender un poco más la problemática y como mitigarla. Para esto se recomienda brindar el entrenamiento necesario para el manejo de la aplicación (<http://www.recosfa.com/la-app/>).

Involucrar a la comunidad como investigadores activos permitirá adquirir y cruzar información que lleve a un análisis más profundo y crítico de la situación, para el desarrollo de soluciones incluyentes.

7.2.6 Herramientas de recolección de datos

Actualmente existen diversas herramientas para la recolección de datos de atropellamiento, las más populares se basan en la participación ciudadana para el registro de la información como el aplicativo móvil RECOSFA. La App RECOSFA fue creada por la Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada (por lo cual lleva su mismo nombre), es una herramienta gratuita que se encuentra disponible tanto para usuarios Android como iPhone y tiene como objetivo la recolección de información de atropellamiento de fauna silvestre. La aplicación cuenta con una forma de registro rápida (Figura 3), donde el usuario puede registrar el lugar donde exista un animal atropellado y también aquellas zonas donde se presenten avistamientos (presencia) de fauna silvestre viva cruzando la vía, en ambos casos las variables registradas serán las siguientes:

- Foto del animal atropellado
- Foto de la zona donde ocurrió el atropellamiento (Lugar)
- Coordenadas geográficas del incidente (Latitud y Longitud)

Figura 3. Interfaz de la App RECOSFA.

A. La aplicación permite hacer el reporte de fauna atropellada y adicionalmente, se puede reportar avistamientos de fauna silvestre cruzando o cerca a la vía.



B. Una vez que el usuario elija la opción (Animal atropellado o Animal vivo) se desplegarán las opciones: fotografía del animal, foto del lugar donde ocurrió el atropellamiento, grabar video y por último reportar y salir.



Nota: siempre debemos revisar que las coordenadas (Latitud y Longitud) aparezcan antes de registrar la información y salir.

Fuente: autores.

Adicionalmente, la aplicación cuenta con una sección de “Datos Avanzados” (Figura 4), donde el usuario podrá registrar información más específica sobre el atropellamiento además de la que ya fue descrita, esta se enumera a continuación:

- Clase de animal (Ave, Anfibio, Mamífero, Reptil)
- Tipo de animal (el usuario escoge con base en ilustraciones numeradas de los animales más atropellados, Figura 5)
- Especie (nombre científico del animal)
- Nombre del proyecto (proyecto, concesión, empresa)
- Tramo o Nombre de la vía
- Abscisa
- Distancia a estructura de cruce de fauna más cercana (m). Estructura cercana que podría ser usada para el cruce de fauna (Puente, Pontón, Box Culvert, Tubería Alcantarilla, Rondas de Coronación, Quiebre de Velocidad, Otra)
- Tipo de cobertura o paisaje (Potrero, Sabana, Bosque, Humedal, Cultivo, Urbanizado, Río Quebrada)
- Velocidad máxima permitida (30, 50, 60, 80, 100 Km/h, otra)
- Número de carriles (1, 2, 3, 4, más de 4)
- Tiempo estimado de incidente (Menos de 1 día, 1-2 días, 3-4 días, 4-6 días, más de 6)

Figura 4. Interfaz de la App RECOSFA y Datos Avanzados

A. La aplicación también permite registrar información más detallada del atropellamiento.

Una vez que el usuario registre los datos detallados en la figura 4, puede ingresar en la opción “Datos Avanzados”.

B. En “Datos Avanzados” se desplegarán las siguientes opciones:

clase animal, tipo de animal, especie, proyecto, tramo o nombre de la vía, abscisa, distancia a estructura de cruce más cercana (m), estructura de cruce de fauna, tipo de cobertura o paisaje, velocidad máxima permitida, número de carriles y tiempo de incidente.

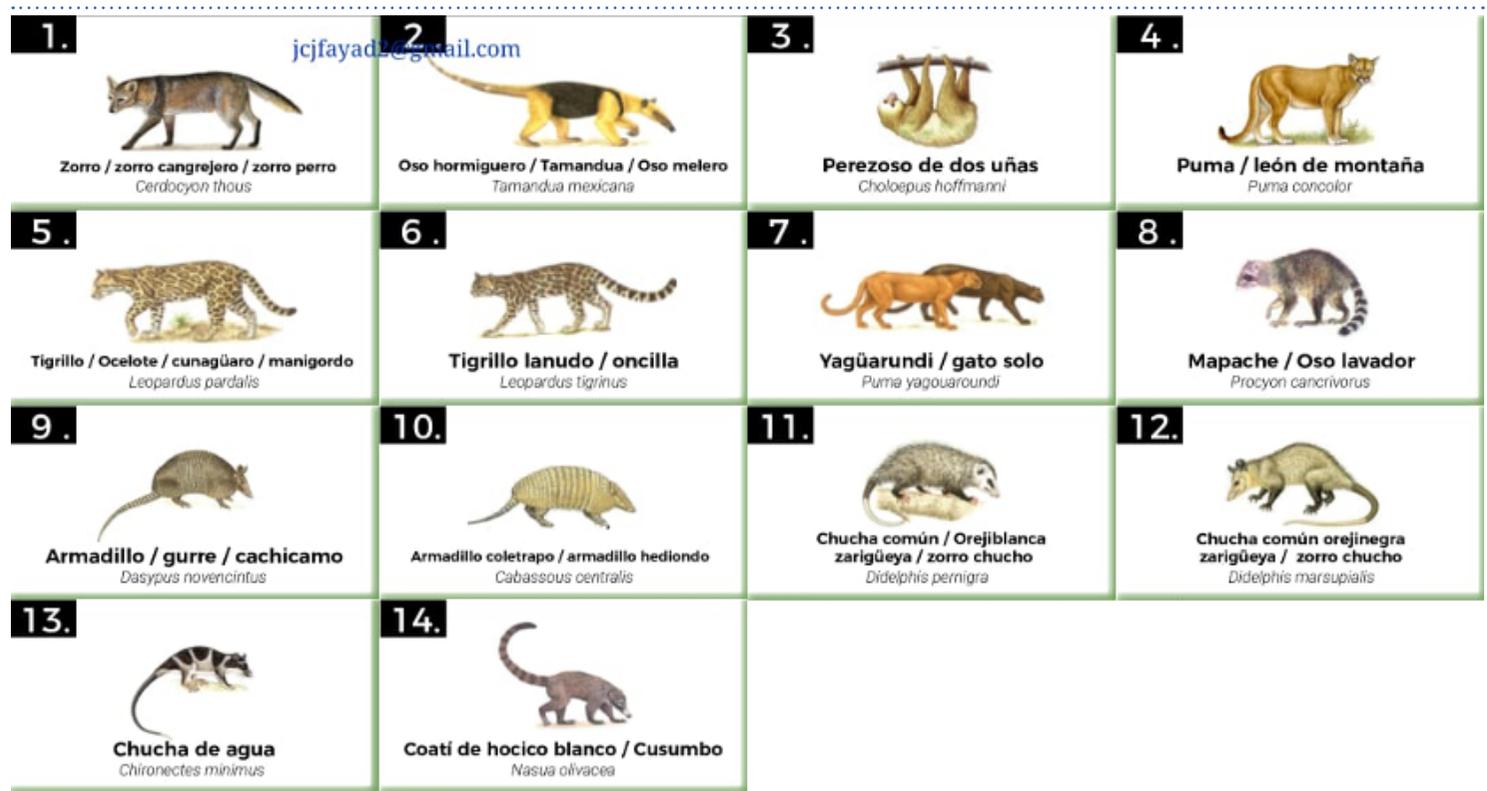


Nota: siempre revisar que las coordenadas (Lat. y Long.) aparezcan antes de registrar la información y salir.

Fuente: autores.

Cada usuario de la aplicación podrá reportar de manera fácil y rápida los atropellamientos que encuentre en las vías del país, inclusive del mundo, además, podrá registrar variables asociadas a los incidentes, información con la cual se podrán realizar análisis para entender más acerca de la problemática y, además, estos datos pueden servir como insumo para proponer medidas que ayuden a mitigar su efecto en las vías del país.

Figura 5. Imagen con las ilustraciones numeradas de los animales más atropellados en las vías colombianas.



Fuente: autores.

Esta imagen se encuentra en la opción avanzada “Tipo de Animal” con el fin de que el usuario pueda identificar el animal atropellado, y, además, que se eviten ambigüedades por las diferencias regionales en los nombres comunes de las diferentes especies animales.

El registro de los eventos de atropellamiento de fauna silvestre puede ser reportado por cualquier persona, investigador o empleados del sector público o privado, en este orden de ideas se creó también un formato o planilla (Figura 6), en conjunto con la ANI, con el fin de que las concesiones realicen el registro de los atropellamientos de fauna silvestre que se encuentren en las vías que tienen adjudicadas y que esta información sea posteriormente entregada a la ANI. Esta planilla cuenta con los mismos datos que son registrados por medio de la aplicación RECOFSA y aunque por el momento es un proceso voluntario, se espera que sea regulado por las autoridades competentes para que todas las concesiones del país deban llevar el registro de los atropellamientos de fauna silvestre en sus vías, con el fin de que se puedan proponer e implementar estrategias tanto de prevención como de mitigación frente a esta problemática.

Figura 6. Planilla desarrollada por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), la Institución Universitaria ITM y la Red Colombiana de Seguimiento de Fauna Atropellada para registrar los eventos de atropellamiento de fauna silvestre que sean encontrados en las vías del país.

															GUÍA TÉCNICA PARA EL REGISTRO DE ATROPELLO DE ANIMALES															
divi	No. Regis	No. f	Fecha	Hor	ID Animal según fich	Nombre Comun	Proyecto	UF	Abscisi	Tramo (Km)	Coordenadas (decimales-planas) lat-long	ID Tipo de cobertura margen vi	Distancia (m) estructura cruce fauna más cerca	Tipo estructura cruce de fauna más cercana	Observaciones															
1	15		15/10/2016	7:23	42	Serpiente		UF 2	19210	19	5°51'30.43"N 75°44'13.28"W		3	Box Culvert	La carcasa de la serpiente esta muy aplastada															
1	14	4	19/10/2016	11:05	39	Iguana		UF 1	3600	3	5°45'35.30"N 75°38'38.90"W	11	25	Alcantarilla																
1	13		20/10/2016	13:30	39	Iguana		UF 1	2950	2	5°45'29.01"N 75°38'15.90"W	11	35	Alcantarilla																
1	12		12/11/2016	8:15	1	Zorro, zorro perro		UF 2	17920	17	5°49'53.66"N 75°43'54.62"O	11	50	Box Culvert																
1	11	3	18/11/2016	12:36	39	Iguana		UF 2	35100	35	5°55'48.57"N 75°50'21.33"O	11	10	Box Culvert																
1	10		29/11/2016	10:30	Kinostemon scorpioides	Morrocoti de agua		UF 2	15000	15	5°49'41.89"N 75°42'31.13"O	13	55	Alcantarilla																
1	7	1	4/01/2017	7:00	12	Chucha / zanguaya / zorro chucho		UF 1	10600	10	5°48'33.59"N 75°40'30.50"O	11	20	Box Culvert																
1	8		4/01/2017	13:00	Coragyps atratus	Gallinazo		UF 2	18960	18	5°50'24.41"N 75°44'8.24"O	11	2	Box Culvert																
1	9	2	17/01/2017	14:00	Epicrates cenchria	Boa Arcoiris		UF 1	3800	3	5°45'39.96"N 75°38'41.83"O	5,5	17	Alcantarilla																
1	2	2	3/02/2017	8:00	Tamandua mexicana	Tamandua mexicana		UF 1	6200	6	N 05°46'51.18" W 075°39'7.56" O	11	3	Box Culvert																
1	2	6	3/02/2017	6:50	Procyon cancrivorus	Mapache		UF 1	9300	9	5°47'55.90"N 75°40'13.60"O	17	25	Alcantarilla																
1	3	7	9/02/2017	9:00	37	Ardilla		UF 1	4700	4	5°46'8.15"N 75°38'47.75"O	13	5	Alcantarilla																
1	4	8	9/02/2017	11:15	Oryzthopus petolaris	Falsa coral		UF 1	650	0	5°44'49.06"N 75°37'18.79"O	11	15	Alcantarilla																
1	5	9	9/02/2017	8:20	39	Iguana		UF 1	12720	12	5°49'13.62"N 75°41'26.09"O	11	8	Alcantarilla																
1	6	10	15/02/2017	6:46	2	Oso hormiguero, melero		UF 2	23600	23	5°52'2.96"N 75°45'45.61"O	11	5	Box Culvert																
1	1	5	2/03/2017	6:50	12	Chucha / zanguaya / zorro chucho		UF 2	15300	15	5°49'41.60"N 75°42'40.70"O	11	40	Alcantarilla																
1	1	1	2/03/2017	9:25	Cercopithecus thomasi	Zorro, zorro perro		UF 2	16800	16	N 5°49'48.10" W 75°43'27.80"O	11	23	Alcantarilla																
1	3	3	9/07/2017		Hemidactylus angulatus	Gekko		UF 2	16000	16	N 05°49'48.10" W 075°43'27.80"O	11	86	Alcantarilla																
1	1	1	9/07/2017	9:00	42	Serpiente		UF 2	25100	25	N 05°52'37.07" W 075°46'17.69"O	11	242	Box-Culvert																
1	2	2	9/07/2017	6:00	37	Ardilla		UF 2	27500	27	N 05°53'23.37" W 075°47'22.19"O	11	10	Box-Culvert																
1	4	4	10/07/2017	7:00	2	Oso hormiguero, melero		UF 1	13500	13	N 05°49'24.03" W 75°41'46.86"O	11	10	Box-Culvert																
1	5	5	10/07/2017	10:00	37	Ardilla		UF 2	17300	17	N 05°49'40.39" W 075°43'43.21"O	11	14	Alcantarilla	No posee un diseño para el flujo de fauna silvest															
1	6	6	17/07/2017	14:29	37	Ardilla		UF 1	6500	6	N 05°46'59.70" W 075°39'9.88"O	11	8	Box-Culvert																
1	7	7	2/07/2017	8:53	42	Serpiente		UF 1	10900	10	N 05°48'41.59" W 075°40'38.72"O	11	8	Box Culvert																
1	8	8	27/07/2017	8:56	37	Ardilla		UF 2	29000	29	N 05°53'34.61" W 075°48'6.68"O	11	59	Box Culvert																
1	1	1	9/08/2017	6:49	1	Zorro, zorro porro		UF 1	8500	8	N 05°47'47.20" W 75°39'49.35"O	11	no hay presente	no hay presente	No hay cerca una estructura que pueda ser usada															
1	2	2	9/08/2017	11:00	1	Zorro, zorro porro		UF 1,2	1300	1	N 5°44'16.94" W 75°36'14.95"O	11	75	alcantarilla	no tiene las dimensiones necesarias para el pas															
1	1	1	14/09/2017	19:00	43	AvotPájaro		UF 1	1500	1	N 05°45'1.78" W 75°37'40.08"O	11	No hay presente	No hay presente																
1	2	2	16/09/2017	18:00	42	Serpiente		UF 1	2800	2	N 05°45'26.08" W 075°38'13.07"O	11	66	Box culvert																
1	3	3	2/09/2017	7:00	42	Serpiente		UF 2	18000	18	N 05°50'1.31" W 075°43'50.37"O	11	37	Box culvert																
1	4	4	2/09/2017	11:02	1	Zorro, zorro porro		UF 1	19500	19	N 05°49'0.27" W 075°49'22.38"O	11	41	Box culvert																

Fuente: autores.

7.3 Análisis de datos ¿Qué se puede hacer con los datos colectados?

Durante esta fase, es importante tener en cuenta que los datos obtenidos en terreno deben ingresarse a una base de datos geográfica, por lo cual deben ser estandarizados o normalizados en su formato (a modo de ejemplo las fechas pueden tener el siguiente formato 23/12/2019 ó 23-12-2019, los nombres de los animales deben seguir una misma forma de escritura, por ejemplo Mamífero o mamífero serán dos datos diferentes al organizarlos en la base de datos). Es necesario que se defina el sistema de coordenadas para el registro de la latitud y longitud, se aconseja utilizar el Único Origen Nacional de Coordenadas, conforme con lo dispuesto por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC en las resoluciones 471 del 14 de mayo de 2020 y 529 del 05 de junio de 2020, emitidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, disponible para consulta en la URL <https://origen.igac.gov.co/>, así mismo, las variables del estudio deben estar claramente delimitadas con sus respectivas unidades, nombre científico de la especie estandarizado además del nombre común.

7.3.1 Número de atropellamientos Vs. Tasa de atropellamiento

Uno de los objetivos fundamentales de los censos diagnósticos es realizar una cuantificación del impacto de la infraestructura sobre la fauna, para esto, se realiza un conteo de carcasas (restos de animales) durante el tiempo de la investigación. Es importante mencionar que existe una gran cantidad de factores que afectan el conteo, esto debido a que los restos son retirados por el atropellamiento constante de los vehículos, los animales carroñeros que se alimentan de ellos y las condiciones ambientales que contribuyen a su preservación o desaparición. Existen múltiples métodos para realizar una estimación de la cantidad de animales atropellados en un periodo de tiempo, quizás el más simple de todos es el Índice Kilométrico de Atropellamiento – IKA (Bager & Fontoura, 2013).

➤ ¿Cómo calcular el Índice Kilométrico de Atropellamientos (Abundancia)-IKA?

En el IKA se considera el número de individuos con relación a una escala espacial y una temporal, es decir, número de individuos atropellados (Abundancia) por kilómetro por día (ind/km/día). La tasa se calculará de la siguiente

manera: se divide el número total de individuos atropellados entre el kilometraje recorrido en un día de monitoreo. A partir de esta tasa se pueden adaptar tasas mensuales. Se debe calcular el IKA por especie o por grupo taxonómico ya que son diferentes. Sin embargo, como fue demostrado por (Zimmermann Teixeira, Kindel, Hartz, Mitchell, & Fahrig, 2017), este cálculo genera una subestimación ya que no tiene en cuenta variables como la probabilidad de detectabilidad, el tiempo de remoción, entre otras variables requeridas para realizar una correcta estimación. Es por esto que sugerimos utilizar la metodología descrita por (Zimmermann Teixeira et al., 2017) para estas correcciones.

De igual manera, existen otros métodos de estimación basados en estadística bayesiana y regresiones lineales que permiten obtener estimaciones relativamente exactas y pueden ser utilizados por los investigadores, previa validación de su efectividad.

7.3.2 Análisis para establecer medidas de mitigación

Al finalizar la etapa de muestreo, es usual obtener un gran volumen de datos georreferenciados en forma de puntos. Para realizar análisis que permitan determinar la ubicación ideal de las medidas de mitigación se requiere el uso de sistemas

de información geográfica - SIG que permitan visualizar y procesar los puntos de atropellamiento, así mismo, se requiere del uso de análisis estadísticos robustos como el análisis K-Ripley, G_i^* de Getis-Ord y pruebas de autocorrelación espacial como las propuestas por Morán, para identificar los puntos calientes de atropellamiento de fauna (Getis & Ord, 1992, 1995).

También se puede usar la información contenida en bases de datos de ciencia ciudadana como las generadas por RECOFSA para alimentar la información, ya que varios de estos análisis requieren de un número determinado de puntos para garantizar la significancia estadística y definir los puntos calientes con precisión. Es importante resaltar que el uso de datos puntuales puede tener un efecto, aún no estudiado, respecto del muestreo puntual.

➤ **Análisis de los datos de atropellamiento con el software SIRIEMA**

Para planificar medidas de mitigación, es importante identificar, como primer paso, si la distribución de los atropellamientos de fauna tiene una agrupación espacial significativa y en qué escalas se produce. Sólo entonces debe identificarse la ubicación de los segmentos viales con alta mortalidad (puntos de acceso). El software libre SIRIEMA presenta este análisis linealizado del camino (Linear Ripley K-Statistics), según lo

propuesto por (Clevenger, Chruszcz, & Gunson, 2003), o el mantenimiento de la bidimensionalidad del diseño de carreteras (2D Ripley K-Statistics), tal como lo propusieron (Coelho et al., 2014; I. P. Coelho, Kindel, & Coelho, 2008).

En la aplicación del software SIRIEMA (Coelho, A. V., Coelho, I. P., Kindel, A., & Teixeira, F. Z. (2014), proponen que, aunque es posible localizar puntos de acceso sin la evaluación previa de la agregación, estos pueden representar puntos de acceso de una muestra de una distribución de probabilidades que, de hecho, es uniforme. Una distribución espacial sin agregaciones significativas sugiere que no hay lugares a lo largo del camino con mayor mortalidad que otros, y que la ubicación de las medidas de mitigación en cualquier lugar a lo largo de la vía tendrá el mismo efecto si el objetivo de mitigación es reducir la mortalidad. Sin embargo, el usuario debe considerar que un conjunto de datos de atropellamiento (obtenido con un particular método e intervalo de muestreo) es sólo una posibilidad entre muchos conjuntos de datos posibles que podrían obtenerse considerando un universo de muestra de un período lar-

go de tiempo. Claramente, cuanto mayor sea el esfuerzo de muestreo (considerando el método y el período de muestreo), más representativo será

el conjunto de datos obtenidos. Para el análisis final se recomienda tener en cuenta variables de elementos ambientales y de ordenamiento territorial, así como análisis de conectividad ecológica tal como el propuesto por Isaacs-Cubides, Trujillo-Ortiz y Jaimes en el 2017 . Por ello es importante recolectar las siguientes capas de información geográfica con una escala no mayor a 1:100.000, que contengan información del área de estudio:

- Áreas protegidas (nacionales, departamentales, locales y/o municipales).
- Planes de Ordenamiento Ambiental, Estructura Ecológica Principal (departamentales y locales y municipales) o Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS).
- Ecosistemas con estatus especiales: páramos, humedales, manglares, bosque seco tropical.

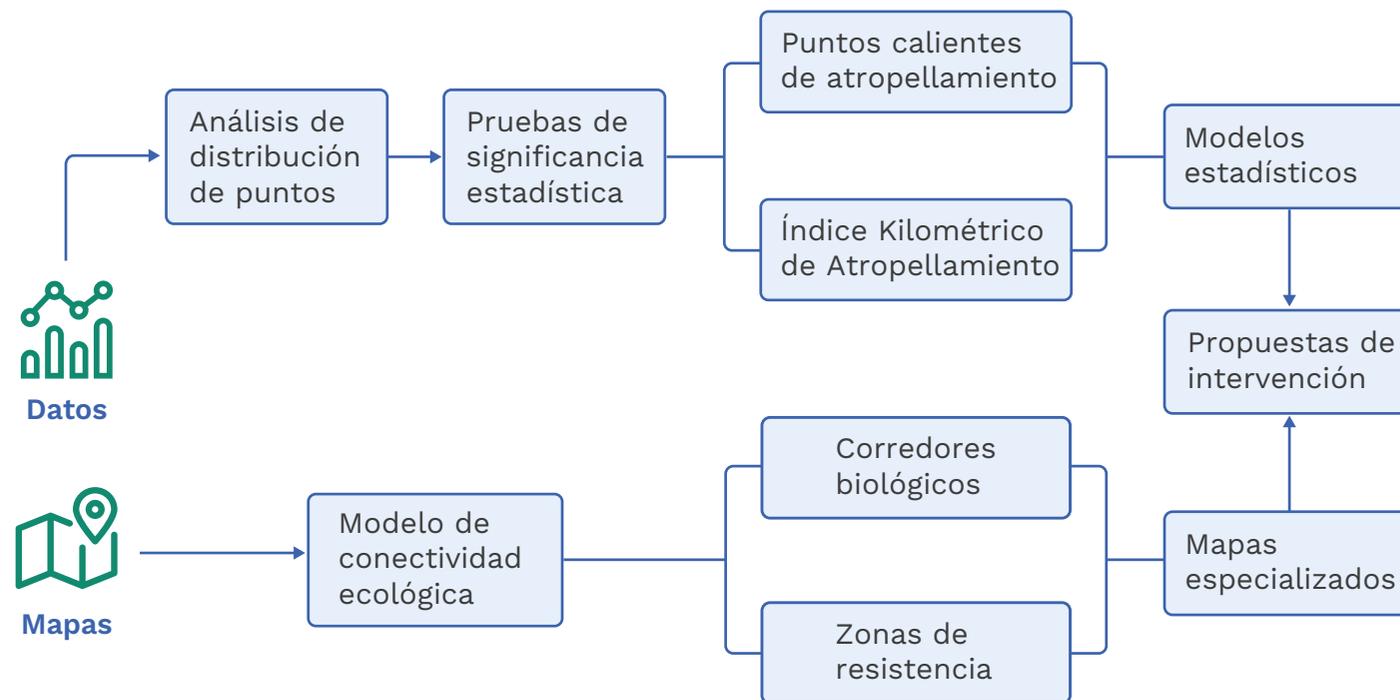
La Inteligencia Artificial es un insumo valioso que puede ayudar a disminuir tiempos y costos durante la toma de datos, reduciendo hasta en un 80% la cantidad de información requerida para llegar a realizar análisis estadísticamente significativos (González-Vélez et al., 2021)

- Estudios de corredores ecológicos o de conectividad identificados por las CAR, el Instituto Alexander von Humboldt o investigadores en instituciones académicas. Elementos de fauna y flora vulnerables, presencia de especies con estatus de conservación especial: en peligro de extinción, amenazadas, migratorias, endémicas o con alta mortalidad en la vía (Pomareda et al., 2014; Quintero, 2016).
- Fuentes de información como listas CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), Libros Rojos de especies amenazadas de extinción en Colombia, mapas de distribución de especies, bases de datos como el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia – SiB, entre otros.

Con el cruce de toda esta información se pueden determinar, con buen grado de precisión, los puntos de atropellamiento de fauna silvestre y hacer recomendaciones de estrategias de prevención y mitigación en el tramo de carretera estudiado.

Finalmente, con el análisis de los datos se construyen mapas que indican los lugares propuestos para la construcción de pasos de fauna y los diseños adaptados al contexto.

Figura 7. Algoritmo para el análisis de datos y la ubicación de las medidas de mitigación al atropellamiento de fauna.



Fuente: autores.

En la Figura 7 se muestra el algoritmo planteado para el análisis de datos que brindará la ubicación de las medidas de prevención y mitigación; para este proceso se recomienda el uso del SIRIEMA u otros softwares estadísticos que permitan aplicar el mismo método.

8. Medidas para evitar y mitigar el atropellamiento de fauna silvestre en las infraestructuras viales



Fuente: autores.

8. Medidas para evitar y mitigar el atropellamiento de fauna silvestre en las infraestructuras viales

Las medidas para evitar y mitigar el atropellamiento de fauna silvestre que se presentan a continuación provienen de una revisión de guías y manuales usados actualmente en carreteras de Europa y Costa Rica. Evitar y mitigar el atropellamiento de fauna, puede ser enfocado principalmente con dos objetivos: 1) Influir en el comportamiento de los usuarios de las vías, e 2) Influir en el comportamiento de los animales, repelerlos de las vías o el cruce seguro de los animales a través de la implementación de pasos de fauna, que facilitan y a la vez favorecen la reconexión de los hábitats que han sido fragmentados por la infraestructura vial (Andrews et al., 2015; Iuell et al., 2003; van der Ree et al., 2015).

Las medidas implementadas para prevenir y mitigar el atropellamiento de fauna silvestre requieren tener en cuenta principalmente tres aspectos: 1) Dejar en claro el papel de los ciudadanos y de los diferentes actores locales en los procesos de implementación y mantenimiento de las medidas de prevención y mitigación; 2) Realizar labores de mantenimiento de acuerdo con los requerimientos de cada medida; y 3) Se deben realizar monitoreos para verificar si estas medidas, sobre todo las que son implementadas para mitigar, sí estén siendo efectivas (Mata Estacio, 2007; Torres-Tamayo, 2011). Para realizar el monitoreo de estas medidas se puede considerar el uso de cámaras trampa para reducir el esfuerzo humano y aumentar la probabilidad de captar un animal cruzando (Chávez et al., 2013).

8.1 Medidas para evitar el atropellamiento de fauna silvestre

8.1.1 Sistemas de cercado o vallados perimetrales

Los vallados continuos se recomiendan para evitar las colisiones entre vehículos y animales de gran tamaño (mamíferos o reptiles como el caimán, dependiendo de las especies que se encuentren en la zona) en autopistas o carreteras con alta intensidad de tráfico (>25.000 vehículos/día) o líneas de ferrocarril. Su gran desventaja es que pueden aumentar el efecto de barrera generado por la infraestructura vial, así que siempre deben instalarse en combinación con pasos de fauna. Estas estructuras poseen una doble función, primero evitar que los animales tengan acceso a la vía y, además, dirigirlos hacia los pasos de fauna (Figura 8) (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

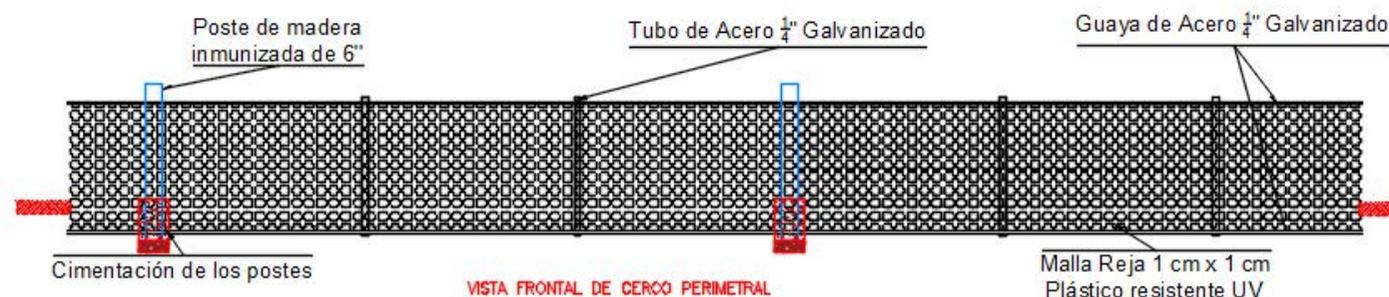
- **Uso:** Sólo son implementados para evitar que los animales entren a la vía y para encauzarlos hacia los pasos de fauna. Están dirigidos a cualquier especie de fauna presente en la zona; sin embargo, es necesario tener en cuenta los hábitos

de éstas para las especificaciones de su construcción, por ejemplo en el caso de que los animales salten o excaven, entre otros.

- **Características técnicas básicas:** Los vallados o cercas son mallas sujetas con postes cada 4 metros, las especificaciones de altura y el material que debe ser usado es determinado por las especies animales que existan en la zona, así como por las que sean más afectadas. Es

importante mencionar que no debe haber espacio entre la malla y el suelo, ni entre las terminaciones de la cerca, también que, se deben construir rampas de escape a lo largo del vallado (ver siguiente sección 8.1.2.). Se recomienda que el mantenimiento de la estructura sea trimestral con inspección periódica del estado de la malla (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015; RACC, 2011).

Figura 8. Sistemas de cercado o vallado perimetral. Fuente: autores.



Fuente: autores.

8.1.2 Rampas o mecanismos de escape

Es importante tener presente que, aun cuando las vías tengan cercas o vallados a lado y lado, de vez en cuando los animales van a encontrar la manera de llegar a la vía y es por esto que es necesario diseñar e implementar estructuras de salida como rampas o mecanismos de escape para que puedan regresar a los hábitats contiguos. Para la fauna de pequeño porte, también es necesario prever rampas de escape de las estructuras hidráulicas o drenajes, en caso de que caigan en ellos (Foto 12 y 13) (Clevenger & Huijser 2011).

8.1.2.1 Escape de los vallados: Rampas de tierra o saltaderos

Las rampas de tierra o saltaderos permiten que la fauna silvestre (grande y pequeña) pueda salir de forma segura en caso de que, en una vía cercada con vallas, estuvieran atrapados del lado de la carretera (Foto 12).

- **Uso:** Exclusivo para fauna, están dirigidos a cualquier especie de fauna presente en la zona; sin embargo, es necesario tener en cuenta los hábitos de estas para las especificaciones de su construcción (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

- **Características técnicas básicas:** Para un mejor uso, las rampas de escape deben colocarse en un área que esté resguardada y tenga cobertura vegetal densa para que los animales puedan calmarse y repasar la situación antes de decidir usar la rampa o continuar caminando a lo largo de la cerca. Se recomienda un desplazamiento en ángulo recto de la cerca para colocar la rampa de escape. La pared de la rampa de escape debe ser

lisa para que no la escalen los animales y los bordes deben ser lo suficientemente altos como para disuadirlos de saltar en la dirección contraria sin usar las rampas de escape. El lugar adyacente a la cerca donde los animales van a descender del lado de la pared exterior debe estar cubierto por materiales blandos como tierra suelta para evitar lesiones a la fauna (Clevenger & Huijser, 2011).

Foto 12. Rampa de escape para animales de tamaño grande y mediano. Tomado de Clevenger & Huijser, 2011.



Fuente: autores

8.1.2.2 Escape de los vallados: Puertas abatibles o troncos

Las puertas abatibles se pueden instalar a nivel del suelo y deben cumplir con la condición de que únicamente se abran hacia un lado y así les permitan escapar con facilidad (Foto 13).

- **Uso:** Las puertas son para mamíferos pequeños y medianos que se desplazan sólo por el suelo (con hábitos terrestres).

Disponer objetos naturales como troncos y demás restos leñosos contra la valla también ha sido implementado como estrategia para que los animales escalen con seguridad y puedan salir de la vía.

- **Uso:** Implementadas para animales de hábitos trepadores de tamaño pequeño y mediano. Al igual que las cercas, las estructuras de escape deben planearse cuidadosamente según las especies a las cuales están dirigidas, así como su ubicación, diseño y mantenimiento (Clevenger & Huijser, 2011).

8.1.2.3 Escape de los drenajes

Con frecuencia los espacios en las tapas de metal que cubren los drenajes para agua llu-

via en las carreteras, son muy grandes para los pequeños vertebrados, los cuáles pueden caer por estos espacios y ahogarse.

- **Uso:** Implementados para pequeños vertebrados como anfibios, mamíferos y reptiles, entre otros.

- **Características técnicas básicas:** Las rampas deben tener una superficie rugosa para proporcionar un buen agarre, y su extremo debe ser unos 15 cm más alto que el terreno circundante (Andrews et al., 2015; Clevenger & Huijser 2011).

Foto 13. Puerta abatible para el escape de animales de tamaño mediano y pequeño. Tomado de Clevenger & Huijser (2011).



Fuente: autores

8.1.3 Disuasores artificiales

Mediante el uso de artefactos que emiten estímulos olfativos, sonoros o visuales se busca que los animales sean alertados por estos sistemas y vayan con cautela al cruzar las vías de transporte (RACC, 2011; van der Ree et al., 2015).

- **Uso:** Sólo fauna, especies como venados ungulados, venados especialmente.
- **Características técnicas básicas:** Los dispositivos acústicos de disuasión, que emiten ultrasonidos para ahuyentar a los mamíferos. Los repelentes olfativos, los cuales son una mezcla de hormonas de humanos y otros animales depredadores (lobos) que se inyectan en una resina sintética y luego se aplican a postes y árboles en las márgenes de las carreteras, por otro lado, sustancias atrayentes como las feromonas, provocan el efecto contrario y

Las medidas para evitar el atropellamiento de fauna silvestre deben tener como propósito fundamental la reconexión de los paisajes. Es recomendable que estén acompañadas de medidas preventivas y procesos de educación ambiental.

pueden ser utilizadas para atraer a los animales y guiarlos hacia los pasos de fauna para su cruce seguro. Los disuasores visuales, son reflectores elaborados

con tiras de metal o espejos asegurados en árboles o postes, los cuáles reflejan la luz de los vehículos al aproximarse, hacia el exterior de la carretera y alertan a los animales. No obstante, la práctica demuestra, que la efectividad de estas medidas es limitada porque los animales se habitan a ellas y por lo tanto se recomienda que si se aplican sea sólo por un tiempo corto mientras se definen otras soluciones cuya efectividad se pueda garantizar a largo plazo (RACC, 2011; van der Ree et al., 2015).

8.1.4 Señalización de advertencia

Son señales de tránsito que buscan llamar la atención de los conductores sobre la alta posibilidad de cruce de fauna silvestre con el fin

de que conduzcan con cuidado y reduzcan su velocidad (Foto 14). Se recomienda que las señales se sitúen en sectores con cobertura boscosa, ecosistemas estratégicos adyacentes o donde ya se haya reportado previamente avisamientos de fauna silvestre cruzando la vía o en los puntos que hayan sido definidos como zonas críticas de atropellamiento de fauna. Para evitar la habituación de los conductores, se recomienda que:

- a) Se ubiquen en los extremos de los tramos de mayor atropellamiento.
- b) Incorporen un panel inferior complementario con indicación de la longitud de vía en la que se concentra el mayor riesgo.
- c) La advertencia se debe referir a tramos menores a 1 km.

Si la vía lo permite, se recomienda combinar la señalización vertical con reductores de velocidad como otra forma de indicar al conductor que en la zona se debe disminuir la velocidad. Esta señalización puede ser reforzada, implementando medidas encaminadas al cumplimiento de los límites de velocidad. Además, se recomienda reforzar la señalización de advertencia con fondos amarillos fluorescentes y retro reflectantes (Iuell et al., 2003; Pomareda et al., 2014).

Foto 14. Señalización preventiva dispuesta en las vías del territorio nacional. Foto tomada en vía concesionada en el departamento de Antioquia, Colombia.



Fuente: autores.

8.1.5 Señalización electrónica de advertencia

Nuevos desarrollos de señalización electrónica buscan aumentar la reducida eficacia de las señales estándar, debido a que estudios han demostrado que los conductores se habitúan y no reducen la velocidad. Un tipo de señalización electrónica se activa en ciertos horarios, por ejemplo, genera señales destellantes durante la noche como refuerzo para tramos en los que se encuentre que los atropellamientos son principalmente nocturnos. Algunas señalizaciones de advertencia incluyen sensores de detección de fauna, estos sensores de calor detectan la presencia de animales, especialmente grandes mamíferos, a una distancia de unos 250 m y activan la iluminación destellante de las señales de advertencia, al tiempo que activan señales de límite de velocidad, hasta 50-60 km/h (Foto 15). Estos detectores no son indicados en áreas con cobertura arbórea o arbustiva densa y es indispensable un mantenimiento y controles periódicos frecuentes, así como garantizar la conexión a una fuente de energía propia (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; RACC, 2011).

Foto 15. Señalización activa luminosa que indica que se está entrando en una zona con cruce de fauna silvestre, “Animales Sueltos”. Adicionalmente, indica un límite de velocidad. Foto tomada en la Vía Zamora – Salamanca, España.



Fuente: autores.

8.1.6 Educación

Cada una de las medidas para evitar o mitigar el atropellamiento de fauna debe ir acompañada de un proceso paralelo de educación y sensibilización a la población en general, comunidades adyacentes a la vía, usuarios de la vía y personal encargado del desarrollo vial (Foto 16). Herramientas como la televisión, la radio, las redes sociales y talleres con las comunidades y los usuarios de las vías, pueden ser utilizados para sensibilizar y educar sobre la importancia de la fauna en el equilibrio de los ecosistemas y el impacto que las carreteras generan sobre ellos. Se recomienda que el tema del respeto por las zonas por donde se mueve la fauna, sea integrado en los sistemas de educación vial, así como en los manuales y cartillas de educación vial del Ministerio de Transporte (Pomareda et al., 2014). De igual forma, actores del desarrollo vial como las entidades del Estado, ejecutores, desarrolladores, constructores, entes financieros y contratistas, deben sensibilizarse ante esta problemática y sus soluciones (Iuell et al., 2003).

Actualmente, en muchos países existen plataformas digitales para reportar animales atropellados en carreteras, las cuáles han expe-

rimentado un auge al involucrar el envío de información a través de dispositivos móviles como los celulares (Morantes, 2017). Desde el 2014 existe RECOFSA en Colombia y su aplicación para reportar atropellamientos que busca a través de la recolección de información, generar estrategias encaminadas a reducir el número de atropellamientos de animales en las vías del país. Cuando una persona descarga la aplicación y se involucra, intrínsecamente se vuelve alguien que replica ese conocimiento y se convierte en un nodo en la comunidad. La participación activa de la comunidad en la producción de conocimiento científico para el estudio de fenómenos e investigaciones sobre temas particulares es llamada ciencia ciudadana y esta tiene un gran potencial como herramienta para la concientización y educación sobre problemáticas particulares como la conservación de la biodiversidad (Betancur & Cañón, 2016) y el atropellamiento de fauna silvestre en carreteras. Estas estrategias pueden llevar a que la misma comunidad que vive cerca a la vía se llene de conocimiento y sean los investigadores que recolectan la información para la implementación de medidas y, además, en muchos casos es la misma comunidad la que se apropia y cuida las medidas implementadas.

Foto 16. Campañas de capacitación y sensibilización frente a la problemática del atropellamiento de fauna silvestre en las vías del país.



Fuente: autores.

8.1.7 Manejo de los hábitats en los bordes de carretera

Para reducir el número de atropellamientos también es de suma importancia mantener las buenas condiciones de la vía en cuanto a visibilidad para los conductores, es por esto que el manejo de la vegetación de borde en las vías debe ser diseñado y manejado, para que el animal sea más visible al conductor y también para evitar que la vegetación los atraiga a la carretera o influya en su comportamiento (Iuell et al., 2003; Quintero, 2016).

8.1.7.1 Corte de la vegetación

Corte de arbustos y árboles en una franja de 3 a 10 metros a lo largo de la carretera reduce el atractivo para grandes mamíferos como venados y otros animales que encuentren alimento o refugio en la vegetación y al mismo tiempo, aumenta la visibilidad para los conductores. Esta la medida es adecuada para carreteras con poco tráfico y para líneas ferroviarias (Iuell et al., 2003).

Los bordes de carretera con vegetación corta suelen atraer a invertebrados y pequeños vertebrados como anfibios, aves, mamíferos (roedores) y reptiles. Los microhábitats que se generan en los bordes de las vías pueden au-

mentar el riesgo de colisión con vehículos y por tanto la mortalidad de individuos de diferentes especies de las clases animales mencionadas (Clevenger & Huijser 2011; Iuell et al., 2003).

8.1.7.2 Elección de las especies vegetales para los bordes de las vías

Las especies vegetales que estén plantadas a lo largo de las infraestructuras viales pueden influir en la cantidad de atropellamientos que se presenten en estas vías, es por esto que se debe elegir la especie adecuada. Se recomienda el uso de especies de plantas nativas, sin embargo, se debe tener cuidado de no utilizar especies de plantas cuyas hojas, flores o frutos sean usados como alimento por los animales y también hay que tener en cuenta que las especies plantadas no se quemen fácilmente para reducir el riesgo de incendios extendiéndose a hábitats inmediatos (Iuell et al., 2003; van der Ree et al., 2015).

8.1.7.3 Uso de cercas vivas

Las cercas vivas densas a lo largo de las vallas también pueden ser utilizadas para conducir a los animales hacia los pasos de fauna (Nota: es necesario dejar un espacio entre la cerca y el vallado para mantenimiento). Los arbustos a lo

largo de la valla reducen el peligro de que los animales intenten saltarla. Las cercas vivas altas de árboles obligan a las aves a levantar el vuelo y de esta manera cruzan la vía a una altura donde no chocan contra los parabrisas de los vehículos, siendo menos vulnerables al cruzar la vía. Se recomienda tener en cuenta que no sean árboles cuyos frutos sean apetecidos como alimento en este caso para las aves, para no atraerlas innecesariamente y aumentar el riesgo de colisiones (Iuell et al., 2003; van der Ree et al., 2015).

8.2 Medidas de mitigación implementadas sobre la infraestructura vial

Estas medidas implican la construcción de estructuras transversales superiores a la infraestructura vial con uso exclusivo de la fauna silvestre.

8.2.1 Pasos superiores

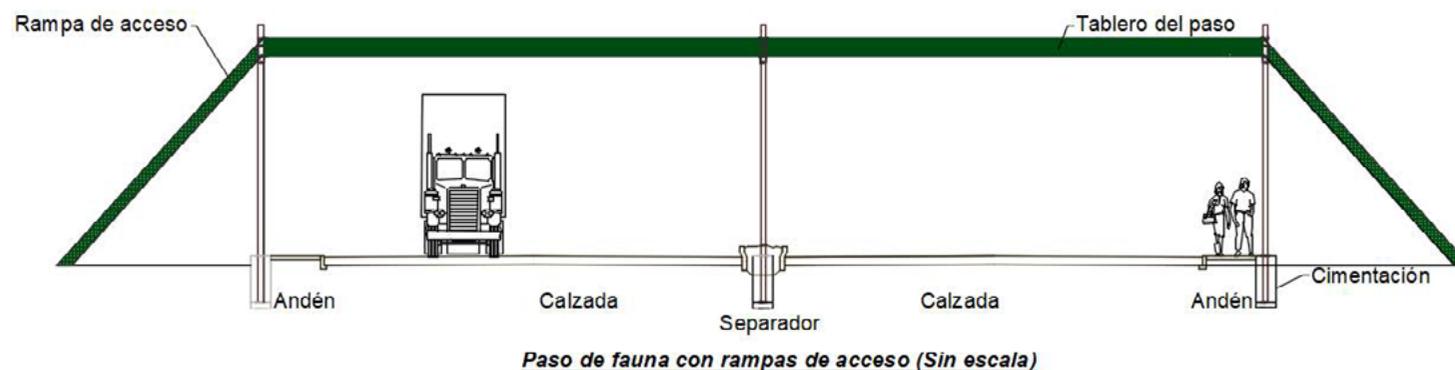
Los pasos superiores son estructuras tipo puente construidas por encima del nivel del tráfico sobre una carretera o vía férrea y son estructuras efectivas en el largo plazo para minimizar el efecto de fragmentación generado por la construcción de las infraestructuras viales y favoreciendo el paso seguro de los animales a través de estas (Andrews et al., 2015; Iuell et al., 2003)

(Figura 9). Es importante mencionar que antes de construir una medida de este tipo, es necesario tener total certeza de que su ubicación es óptima para las necesidades de movimiento de fauna, esto gracias a la información de los atropellamientos, la cobertura vegetal, análisis de conectividad y la distribución de las especies animales en la zona (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

- **Uso:** Exclusivo de Fauna de hábitos terrestres o semi arborícolas desde mamíferos hasta anfibios por ejemplo felinos, cánidos como el zorro perro o animales semi arborícolas como el olinguito; adicionalmente, pueden orientar el vuelo de aves y murciélagos (Pomareda et al., 2014).
- **Características técnicas básicas:** Los pasos elevados pueden tener dimensiones diferentes, los más grandes tienen de 40 a 50 m de ancho y 20 m de alto como mínimo (como los de Europa y EE. UU.), estos están dirigidos principalmente a grandes animales como alces, venados, osos, otros pasos elevados como los construidos en Brasil, se han enfocado principalmente en mamíferos de talla media (Teixeira, Printes, Fagundes, Alonso & Kindel, 2013). La dimensión de estas medidas se establecerá según las especies que se encuentren distribuidas en la

zona, los animales de mayor tamaño podrían ser la referencia, adicionalmente, se recomienda que los pasos sean complementados por la instalación de pantallas laterales opacas de 2 m de alto preferiblemente de madera que deben cubrir en su totalidad la vista hacia la infraestructura vial y también de vallados perimetrales unidos a los accesos del paso con el fin de guiar a los animales para cruzar por este paso seguro. El ancho, el diseño y la vegetación deben unirse para mimetizarse y generar continuidad con los hábitats circundantes para que los animales si se atreven a cruzar (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015; RACC, 2011).

Figura 9. Paso de fauna con rampas de acceso.



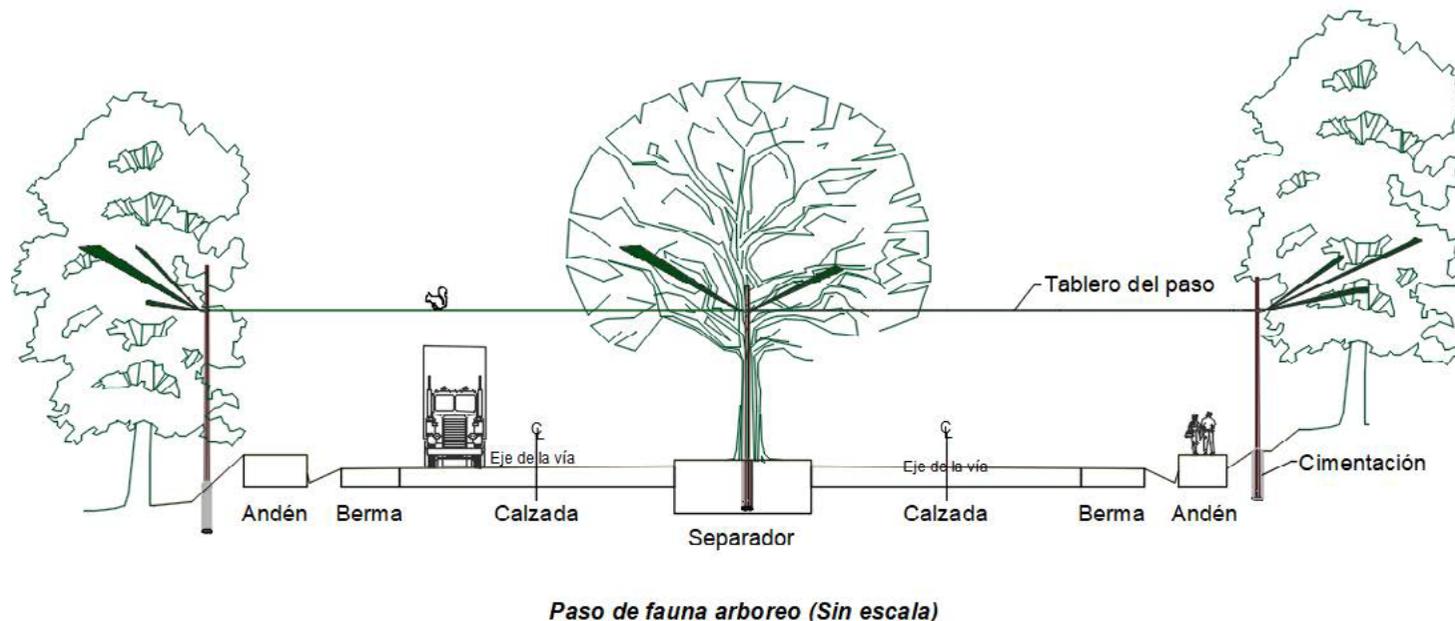
Fuente: autores.

8.2.2 Pasos arbóreos

Estas estructuras son pasos especiales diseñados para conectar las copas de los árboles a lado y lado de las carreteras (Figura 10). Se recomienda que sean suficientemente tensos para que los animales puedan pasar por encima y que logren una buena conexión entre los árboles a ambos lados de la infraestructura vial (Iuell et al., 2003).

- **Uso:** Exclusivo de fauna, animales con hábitos arborícolas o semiarborícolas, como monos, ardillas, perezosos, zari-güeyas, olinguitos, entre otros (Pomareda et al., 2014).
- **Características técnicas básicas:** Se recomienda ubicarlas en carreteras donde se concentre mortalidad por atropellamiento de especies con hábitos arborícolas o semiarborícolas o donde haya más de una calzada o esta sea muy ancha. El diseño depende del tamaño de la vía, si es pequeña, con un lazo o una escalera de lazo bastará para proveer la conexión, sin embargo, en carreteras más anchas, la conexión requiere de más estabilidad y se recomiendan caminos de dos cables de acero con una malla entre ellos de 20 a 30 cm de ancho. Como protección frente a los predadores se recomienda usar una cuerda adicional más delegada encima del pasadizo para evitar ataques de aves rapaces (Iuell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015; Pomareda et al., 2014).

Figura 10. Paso de fauna arbóreo



Fuente: autores.

8.3 Medidas de mitigación implementadas por debajo de la infraestructura vial

Estas medidas se refieren a todos los pasos construidos a desnivel por debajo de las carreteras para el cruce seguro de la fauna silvestre y que, además buscan generar la conectividad entre los paisajes. Pueden ser estructuras existentes (pensadas dentro del diseño de la vía), las cuales pueden necesitar adaptaciones apropiadas (a la estructura y/o el hábitat) para que puedan funcionar eficazmente como pasos de fauna: viaductos, puentes, pontones, pasos multifuncionales, u obras hidráulicas (Iuell et al., 2003; Pomareda et al., 2014). Por otro lado, pueden ser también estructuras correctivas que se construyen exclusivamente para generar la conectividad de especies, como pasos para animales de tamaño grande y mediano o pasos exclusivos para animales pequeños como los pasos exclusivos para anfibios.

8.3.1 Estructuras existentes (consideradas dentro de los diseños de las vías)

8.3.1.1 Viaductos, puentes y pontones

Los viaductos son una solución técnica en áreas montañosas para llevar la carretera de un lado del valle al otro sin afectar en mayor escala el ecosistema existente. Los fondos de los valles son rutas preferidas por muchos animales para su dispersión y más si tienen buena cobertura vegetal y cuerpos de agua; al construir viaductos la afectación sobre las especies vegetales y la fauna es menor, ya que los hábitats no se fragmentan y favorecen que los corredores existentes sean conservados (Foto 17) (Cleverger & Huijser 2011; Iuell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

- **Viaductos vs. terraplenes:** A pesar de que la construcción de un terraplén pueda ser en el corto plazo una alternativa más barata, su impacto sobre los hábitats es muy alto al compararlo con la conectividad que permite un viaducto sostenido sobre columnas, de esta manera compensa los beneficios a corto plazo.

- **Uso:** Mixto, beneficia animales de todo tipo de hábitos (terrestres, arborícolas, semi arborícolas, acuáticos y semi acuáticos). Se recomienda que sean implementadas en particular donde haya un curso de agua, humedales o ecosistemas estratégicos (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).
- **Características técnicas básicas:** La longitud del viaducto depende de la topografía a conectar, se recomienda que el viaducto incluya la vegetación de la ribera y 10 m adicionales en cada uno de los márgenes del río. La distancia mínima entre las columnas del viaducto y la vegetación de la ribera debe ser de 5m, para generar poca alteración de los hábitats naturales. Su altura mínima debe ser de 5m y en áreas arboladas mínimo de 10m para que la cobertura vegetal sea continua. Para que la luz y el agua de lluvia lleguen debajo del viaducto, se

Es importante monitorear la efectividad de las modificaciones a estructuras hidráulicas existentes en la vía, ya que esta aproximación ha sido relativamente poco explorada en el país.

recomienda dejar una amplia separación en las vías de cuerpos separados. Para permitir el paso de los animales se recomienda dejar la parte inferior del viaducto sin obstáculos como cercas u otras construcciones y realizar monitoreos periódicos para asegurar que continúe así. Algunas recomendaciones que pueden ser implementadas durante el proceso de construcción son: 1) Perturbar lo menos posible la vegetación existente y la posterior restauración de la vegetación destruida en el proceso constructivo y de los sectores utilizados como caminos de la obra. 2) Cuando el viaducto atraviese ríos, debe asegurarse la continuidad de la vegetación ribereña y aquella que se interrumpió por inundación temporal. Adicionalmente, es importante mencionar que, 3) Se recomienda que siempre estén acompañados de vallados perimetrales unidos a los accesos del paso para guiar a los animales hasta el paso seguro (Iuell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015; RACC, 2011).

Foto 17. Viaductos, Puentes, Pontones. En las fotografías se observan obras hidráulicas presentes en Proyecto Vial Concesionado en el departamento de Antioquia, Colombia.



Fuente: autores.



Fuente: autores

8.3.1.2 Pasos secos multifuncionales: caminos de ganado, peatonales, carreteables, o pontones

Son pasos por debajo de la carretera cuya función principal no es hidráulica: caminos de ganado, peatonales, o carreteables con baja intensidad de tránsito, que se pueden adaptar para el paso de fauna (Foto 18). Para incentivar a la fauna a usarlos se recomienda acondicionar los accesos con vegetación, y dejar una franja lateral con un sustrato parecido al del entorno (Iuell et al., 2003).

- **Uso:** Mixto, paso de fauna y camino, vía pecuaria. Las especies objetivo deben ser acorde a la fauna presente en la zona y como son pasos inferiores, pueden ser utilizados por todos los vertebrados de hábitos terrestres como cánidos como el zorro perro, felinos como el ocelote, margay, yaguarundi, puma y el jaguar; carnívoros como la tayra, comadreja, mapaches o chigueros, entre otros. Para otros animales un poco más exigentes como pequeños vertebrados (anfibios, mamíferos y reptiles), si hay suficiente humedad ambiental y se instalan cerramientos adecuados podrían utilizarlos (Iuell et al.,

2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

- **Características técnicas básicas:** La longitud debe ser siempre la mínima posible, se recomienda una altura mínima de 3,5 m y dependiendo de las especies que se estima la van a cruzar puede ser de 12 a 15 m de ancho (Iuell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015). Acondicionamientos: En el interior se recomienda que exista drenaje adecuado incluso después de fuertes lluvias, si se sabe que va a estar inundada por temporadas debe tener franjas que se mantengan secas (>o igual 1m). Es importante mencionar que estas estructuras deben ser acondicionadas con elementos del hábitat natural (vegetación, rocas, pequeños troncos secos), que no se vean como estructuras artificiales, por el contrario que sean atractivas para los animales y que funcionen como refugio para animales pequeños. Se requiere instalar cerramientos perimetrales para guiar a la fauna hacia el paso, además, si la infraestructura vial tiene alta intensidad de tráfico, es indispensable instalarle pantallas opacas de alta durabilidad, para aislar el ruido. El

mantenimiento incluye revisar el cerramiento perimetral corregir daños y detectar malas prácticas como estacionar maquinaria en el interior del paso (Iuell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

El diseño del trazado de una vía que contemple las necesidades de movilidad de la fauna desde las etapas tempranas de planeación de la infraestructura, disminuirá considerablemente la necesidad de realizar medidas de mitigación en el futuro.

Foto 18. Pasos secos multifuncionales: caminos de ganado, peatonales, carreteables, o pontones. En la fotografía “pasa ganado” ubicado en Proyecto Vial Concesionado en el departamento de Antioquia, Colombia.



Fuente: autores.

8.3.1.3 Obras hidráulicas modificadas para uso de fauna terrestre

Las obras hidráulicas transversales a las vías como cajas de hormigón (box culverts de diversos tamaños) o tuberías (alcantarillas, abovedados, entre otras) de gran tamaño para el paso permanente o temporal del agua por debajo de una carretera o ferrocarril se pueden adaptar para que la fauna terrestre los pueda usar (Foto 19). En estas obras hidráulicas es importante considerar la variación del flujo de agua según la época del año, pero casi siempre tendrá un flujo de agua (Figura 11) (Iuell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

- **Uso:** Sólo fauna, todos los vertebrados de hábitos terrestres y tamaño mediano y pequeño podrían usarlos como cánidos como el zorro perro, felinos como elocelote, margay, yaguarundi, puma, el jaguar, carnívoros como la tayra comadrejas, mapaches, entre otros. Son ideales también para el cruce de anfibios y pequeños mamíferos si se utilizan rocas y zonas pantanosas en el sustrato, se puede adecuar nichos adicionales con mas rocas buscando refugios para los in-

dividuos más pequeños (luell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

- **Características técnicas básicas:** En los requerimientos de las modificaciones se recomienda lo siguiente:
 - 1) El fondo o los costados deben ser adaptados para que exista un paso seco sin importar la temporada climática, por ejemplo, con un terraplén, o bien una cornisa o saliente de otro material por encima del nivel del agua.
 - 2) Se recomienda modificar las entradas y salidas de los drenajes con rampas de superficie rugosa con pendientes máximas de 45°.
 - 3) Si el drenaje lleva un curso de agua permanente de un lado al otro de la vía de transporte es necesario adaptarlo con un fondo parecido al natural con arena y rocas que también incentivaría el paso de fauna acuática y no únicamente del agua (ver siguiente sección 8.3.7.) (Figura 11) (Clevenger & Huijser 2011; luell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Foto 19. Obras hidráulicas que pueden ser modificadas para el paso seguro de fauna.

A. Box culvert.



B. Box culvert.



C. Abovedado.



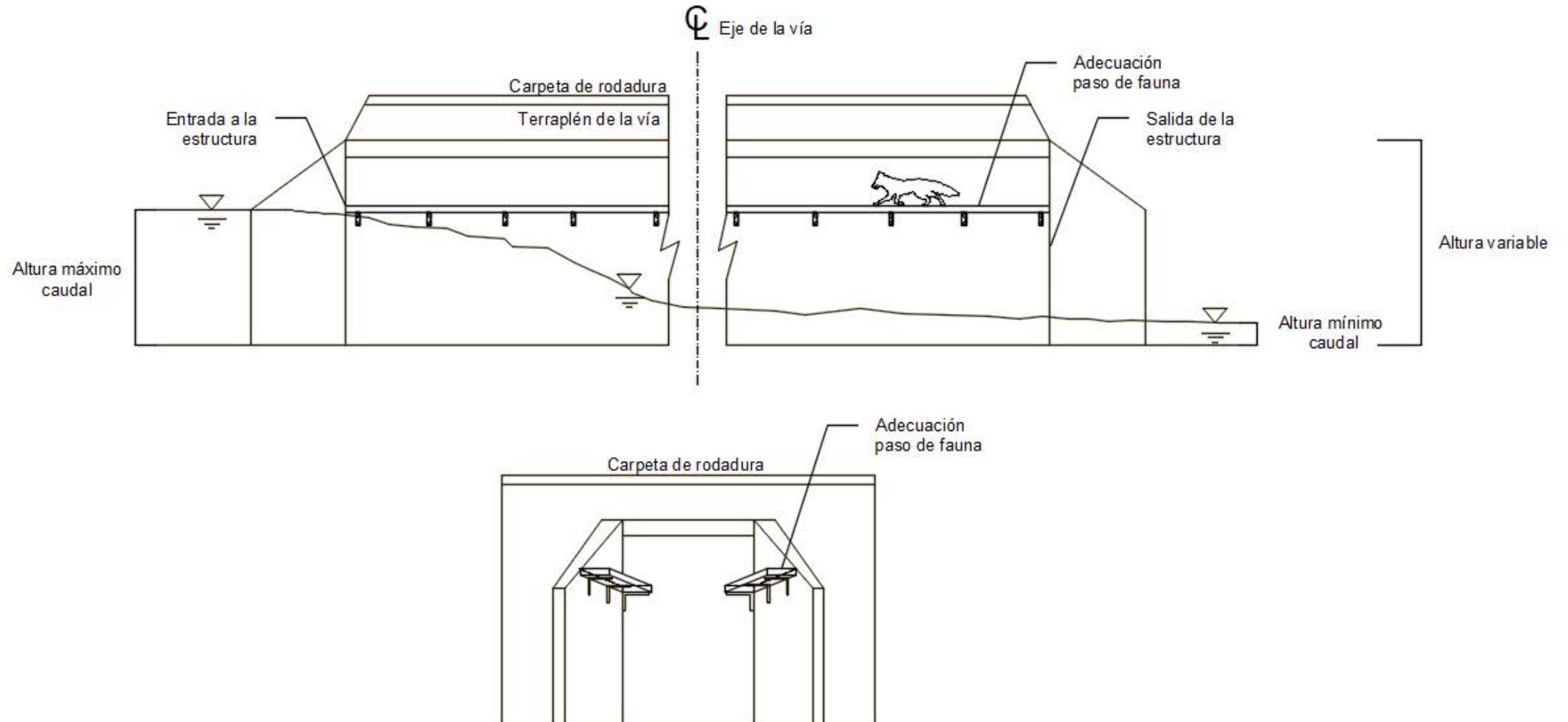
D. Alcantarilla.



En la fotografía obras hidráulicas presentes en Proyecto Vial Concesionado en el departamento de Antioquia, Colombia.

Fuente: autores.

Figura 11. Detalle, adecuación para el paso de fauna subterráneo.



Fuente: autores.

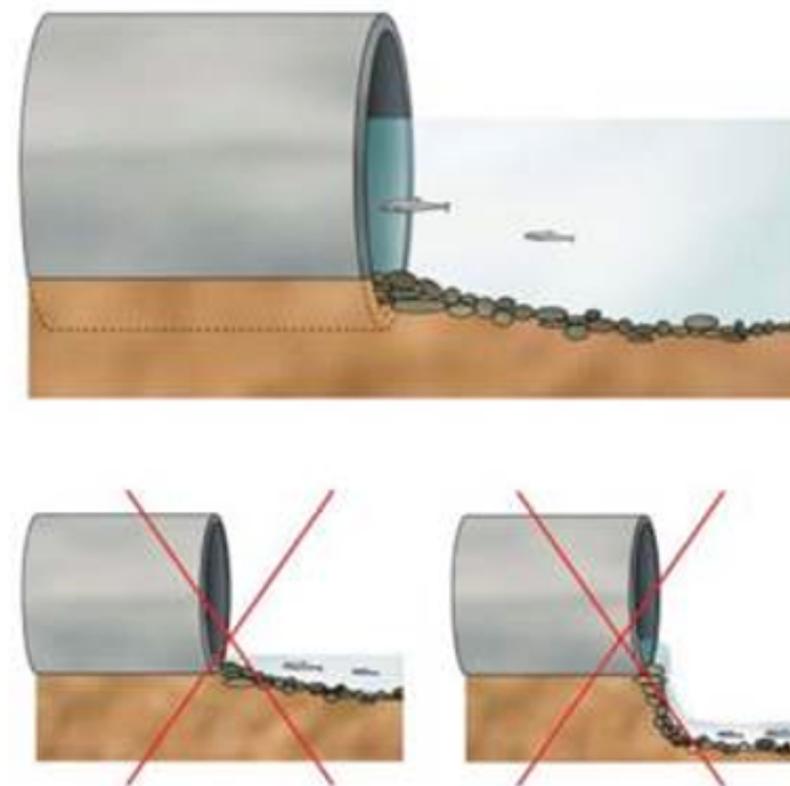
8.3.1.4 Obras hidráulicas adaptadas para peces

Los pasos adaptados para peces son drenajes como alcantarillas y tubos, que se usan para guiar cursos de agua bajo las infraestructuras de transporte y las modificaciones requeridas tienen un bajo costo. Los pasos para peces deben construirse cuando la infraestructura cruza ríos, cursos de agua y lagos, teniendo en cuenta los siguientes criterios: No deben ser muy largos, ni muy empinados, ni muy angostos y no deben presentar caída de agua en la salida (Figura 12) (Andrews et al., 2015; Iuell et al., 2003).

- **Uso:** Mixto; paso de fauna terrestre, peces, cangrejos y crustáceos de agua dulce, entre otros (Andrews et al., 2015).
- **Características técnicas básicas:** En los requerimientos del diseño se recomienda evitar lo siguiente:
 - 1) Desniveles en los accesos al paso (para la mayoría de las especies 5-10 cm de desnivel ya es excesivo e impide el movimiento);
 - 2) Profundidad del agua inadecuada dentro del paso (varía según el tamaño de las especies de peces objetivo entre 10 y 30 cm de profundidad);
 - 3) Alta velocidad del agua dentro del paso (se requiere dentro del paso se simule la corriente y analizar el paso en condiciones de baja y alta corriente);
 - 4) Acumulación de restos de vegetación y piedras a la entrada del paso;
 - 5) Turbulencia dentro del paso (por la misma estructura o por restos acumulados).

- **Mantenimiento:** Se recomienda programar limpiezas periódicas para retirar obstáculos que pudieran presentarse en zonas de canales, acequias o en sistemas de retención de materiales especialmente después de épocas de lluvias o de avenidas (Iuell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Figura 12. Ilustración de drenaje adaptado para peces.



Fuente: tomado de Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, 2015.

8.3.2 Estructuras correctivas (implementadas después de la fase de construcción del proyecto vial)

A diferencia de las anteriores, las estructuras correctivas deben ser diseñadas, construidas e implementadas después de la construcción de las vías en puntos que sean corredores biológicos identificados en el análisis de conectividad del paisaje.

8.3.2.1 Pasos construidos para animales de tamaño grande y mediano

Este tipo de pasos son estructuras correctivas construidas e implementadas antes/durante de la construcción de las vías con el fin de comunicar hábitats separados por una infraestructura vial que vaya sobre terraplén (Foto 20).

- **Uso:** Exclusivo para fauna, mamíferos como venados, carnívoros grandes y animales más pequeños, también resulta útil para el resto de las especies terrestres. Son menos favorables para algunas especies voladoras o insectos que se guían

por la luz. Estos pasos se deben ubicar en lugares que se identifiquen como rutas de desplazamiento usadas por las especies objetivo y se recomienda encauzar a los animales hacia el paso con la ayuda de vallados a ambos lados de la estructura (Clevenger & Huijser 2011).

- **Características técnicas básicas:** En cuanto a las dimensiones del paso, el largo es fijo (ancho de la infraestructura vial), su ancho y altura (en menor medida) se pueden elegir de acuerdo con los requerimientos de los animales objetivo, sin embargo, se han recomendado medidas mínimas de altura de 3.5 m y ancho de 15 m. El índice de apertura (ancho x alto / largo: >1.5) indica que entre más largo sea el paso, más ancho y alto debe ser. Se recomienda que en la infraestructura vial se instalen pantallas opacas, para minimizar los disturbios a los animales por ruido e iluminación, aumentando así la eficacia del paso (Foto 18) (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015). El suelo del paso idealmente debe ser de tierra y evitar superficies pavimentadas, rellenos de gravas o arenas, con buen drenaje, la vegetación en la entrada debe ser atractiva a

las especies de fauna objetivo. El mantenimiento e inspecciones regulares son muy importantes ya que se debe realizar una limpieza periódica de estas estructuras, asegurarse que no estén llenas de sedimento y hojarasca (Iuell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Los pasos de fauna propuestos para una vía deben ajustarse a las necesidades propias de las especies de la región, buscando dar cobertura al mayor número de animales. Las infraestructuras de mitigación de buen tamaño aumentan la permeabilidad de la vía, especialmente al ser acompañadas por vegetación.

Foto 20A. Pasos construidos para animales de tamaño grande y mediano. Vía Salamanca – Zamora, España.



Fuente: autores

Foto 20B. Ecoducto de la ruta 101 de Misiones en Argentina. Fuente: Diego Varela, CeIBA/IBS-CONICET.



Fuente: autores

8.3.2.2 Estructuras correctivas: pasos construidos para animales pequeños

Este tipo de pasos son aptos para tramos donde la vía esté construida sobre un terraplén o un poco más arriba del nivel de la superficie y además se registre una alta mortalidad por atropellamiento de vertebrados pequeños y medianos (Figura 13) (Andrews et al., 2015).

- **Uso:** Sólo para fauna, vertebrados de tamaño mediano y pequeño, micromamíferos, reptiles y algunos anfibios (para anfibios tener en cuenta grado de humedad y cerramientos especiales) (Clevenger & Huijser 2011).
- **Características técnicas básicas:** Para estructuras tubulares se recomienda un diámetro mínimo de 1.5 m, por el contrario, para estructuras rectangulares las dimensiones mínimas son de 2 x 2 m, su longitud debe ser la mínima posible. La forma rectangular es prefe-

Es importante tener en cuenta cuál es el objetivo de un paso construido para animales pequeños, como anfibios, reptiles o mamíferos, ya que de esto dependerá si se requiere que la estructura tenga un paso seco o si necesita de la presencia de agua.

rible cuando las infraestructuras están en fase de construcción y recomendadas para anfibios porque la pared perpendicular al suelo los direcciona hacia adelante, mientras que la forma tubular se recomienda cuando ya esté la carretera en operación porque es fácil de instalar a un bajo costo. No se recomienda usar material de acero corrugado y si son estructuras prefabricadas, se recomienda que las uniones no tengan irregularidades en la base. Importante diseñar buen drenaje, pero si las inundaciones son temporales, se recomiendan construir en su base franjas secas de mínimo 60 cm de ancho para la circulación de los animales. De ser necesario instalar pantallas opacas en la vía para reducir disturbios por el ruido y las luces de los vehículos. El mantenimiento debe ser periódico para retirar obstáculos en los accesos del paso y el óptimo estado del cerramiento perimetral (Andrews et al., 2015; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

El mantenimiento debe ser periódico para retirar obstáculos en los accesos del paso y el óptimo estado del cerramiento perimetral (Andrews et al., 2015; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

El mantenimiento debe ser periódico para retirar obstáculos en los accesos del paso y el óptimo estado del cerramiento perimetral (Andrews et al., 2015; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Figura 13. Paso de fauna subterráneo para animales pequeños.



Fuente: autores.

8.3.3 Túneles construidos para anfibios

En lugares identificados como rutas de migración o movimiento diario de anfibios se requiere de pasos especiales que permitan su desplazamiento. Los más importantes son los cerramientos denominados “estructuras guía” que dirigen el desplazamiento de los anfibios hacia los pasos (Figura 13) (Andrews et al., 2015; Luell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

- **Uso:** Sólo fauna, especialmente anfibios, aunque también lo pueden utilizar micromamíferos y reptiles (Clevenger & Huijser 2011).
- **Características técnicas básicas:** Para el paso se recomienda que las estructuras sean rectangulares debido a que las paredes verticales facilitan mucho más el paso para los anfibios, comparadas con las curvas como en el caso de una estructura tubular. Se recomienda que estos pasos no tengan escalones ni desniveles en sus accesos, ni en su interior y que cuenten con buen drenaje ya que las láminas de agua obstaculizan el desplazamiento de los anfibios (Luell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Estructuras guía: Se recomienda una altura mínima del cerramiento entre 0.4 y 0.6 m, dependiendo de la agilidad de los anfibios. Se recomienda instalarlas muy próximas a la vía para que el paso sea lo más corto posible. Las cercas no deben ser de malla o red por la facilidad con que los anfibios las pueden escalar, deben ser tipo valla opaca de material muy liso, completamente vertical con la parte superior doblada hacia el interior. El Mantenimiento se debe realizar periódicamente para monitorear su uso con el fin de detectar desperfectos o huecos y repararlos lo antes posible, retirar elementos que obstruyan el paso y mantener la cobertura vegetación baja a medio metro del cerramiento (Andrews et al., 2015; Luell et al., 2003; Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

9. Proyección de la Ecología de Carreteras en el país: PMTI y los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia



Fuente: autores

9. Proyección de la Ecología de Carreteras en el país: PMTI y los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia

➤ La infraestructura vial de Colombia a 2015

El país heredó del siglo XX una red vial primaria, diseñada para una economía cerrada, orientada a la conectividad entre puntos fijos y no a la eficiencia de desplazamientos entre capitales y de éstas hacia puertos y fronteras de escasa densidad, con especificaciones bajas y déficit de transversalidad oriente-occidente (Ministerio de Transporte, 2016).

Según las estadísticas del Ministerio de Transporte, 2019, Colombia cuenta con una red vial de 205.379 km de carretera, de los cuales el 9% (17.958 km) corresponde a la red primaria, 22% (45.137 km) a la red vial secundaria y el 69%

(142.284 km) de la red vial corresponde a vías terciarias. Para 2035 el país tendrá 2.820 km de dobles calzadas.

A 2014 el país tenía 1.475 km de dobles calzadas. Con esta dotación, y según BID (2014), Colombia tiene una densidad de vías pavimentadas de 1.9 km/100 km², menor al promedio de América Latina (2.5). Igualmente, Colombia está por debajo de la tendencia internacional en dotación de kilómetros de vías frente a su mismo PIB (Ministerio de Transporte, 2016).

Con este panorama si se desea hacer un comparativo de Colombia a nivel global se debe recurrir al Índice de Desempeño Logístico (LPI), la mejor calificación en 2014 fue la de Alema-

nia (4,12). Colombia está por debajo de la calificación promedio entre grupos comparables: la calificación de los países de ingreso medio alto es de 2,82, y la calificación promedio de América Latina y el Caribe 2,74. Colombia obtiene una calificación inferior a la de todos los países con los que limita, y sólo está mejor que Honduras, Bolivia, Guyana, Haití y Cuba. Justamente, la calificación más baja de Colombia se presenta en el componente de infraestructura (2,44) (Fedesarrollo, 2015).

Adicionalmente a los comparativos internacionales, los expertos coinciden en que el problema más notorio de la infraestructura de Colombia está en la red vial y en la logística (ejemplo, BID 2014). Los problemas más serios son el mantenimiento insuficiente, la congestión en los accesos a ciudades y la falta de plataformas logísticas; igualmente, la baja calidad (nivel de pavimentación) en vías secundarias y terciarias, y la disfuncionalidad de la red primaria, que es deficitaria en transversalidad oriente-occidente, y que no ha logrado desprenderse de los trazados de la Colonia (Ministerio de Transporte, 2016).

➤ PLAN MAESTRO DE TRANSPORTE INTERMODAL - PMTI

El PMTI (Ministerio de Transporte, 2015) es una apuesta del Estado colombiano para organizar en forma eficiente y estratégica el crecimiento del país, a través de una red de infraestructura que logre conectar a las ciudades, las regiones, las fronteras y los puertos, priorizando los proyectos que mayor impacto tendrán para la economía nacional. Este es un plan que, según la metodología implementada y las recomendaciones de expertos nacionales e internacionales, sugiere que se prioricen la conectividad vial y el perfeccionamiento de los corredores más importantes del país, para luego fortalecer otros modos complementarios, pero más especializados y de nicho.

El módulo I contempla el plan de infraestructura, principalmente la red básica y las vías de integración nacional, y fue diseñado para potenciar la productividad real del país y su comercio exterior, conectando entre sí a las 18 principales ciudades-región, donde se origina el 85% del PIB, con las fronteras y los puertos del Caribe y el Pacífico.

En su módulo II, estructuró una hoja de ruta que incluya políticas públicas para desarrollar,

por lo menos, la regulación sectorial, la movilidad urbana, la gerencia logística de corredores nacionales, la conformación de un sistema de gestión de activos en las redes regionales y la financiación de formas alternas al modo vial. El PMTI es, en fin, un paso estratégico para construir una Colombia ideal, esto es, un país competitivo, organizado y próspero.

El PMTI no solamente es un ejercicio conceptual sino también un ejercicio real que se encamina a la actualización de la lista de proyectos a medida que se ejecutan obras, se mejoran los corredores y se encuentran nuevas necesidades.

Son 3 los objetivos del Plan:

- 1 Impulsar el comercio exterior, reduciendo los costos generalizados de transporte en los corredores y transversales existentes y venideros, y en los accesos a las grandes ciudades.
- 2 Impulsar el desarrollo regional, mejorando la calidad de las redes regionales con propósitos de accesibilidad (menor tiempo de llegada a Capitales departamentales y/o Sistema de Ciudades, corredores y transversales).
- 3 Integrar el territorio, aumentando la presencia del Estado, para que se reduzca el espacio de actividades ilegales, y se acer-

que a ciudadanos y regiones a los mercados principales y los centros de servicios.

Y son 2 las metas más importantes del Plan:

- 1 Consolidar una lista de proyectos prioritarios para iniciar su estructuración con tiempo suficiente.
- 2 Llevar la infraestructura de Colombia a los altos niveles de competitividad que nos permitan estar en igualdad de condiciones con Chile y México en niveles de servicio de la red vial, lo cual implica lograr que un camión alcance los 60 km por hora en zonas montañosas y 80 km por hora en terreno plano.

En los últimos años, el país ha intensificado su inversión en infraestructura vial, no obstante, aún se mantiene una importante distancia entre la demanda y la oferta de infraestructura, que lo sitúa en el puesto 108 de 144 países, en términos de la calidad de infraestructura (Deloitte, 2019).

➤ **Intervenciones del PMTI en las vías del país**

En la Red Básica, el PMTI plantea 101 intervenciones viales, que incluyen 12.681 km de redes primarias (mantenimiento de 7.869 km de red no concesionada, y construcción y mejora de 4.812 km adicionales).

En las Redes de Integración, el PMTI plantea 52 proyectos, equivalentes a 6.880 km de vías intervenidas. En total, el PMTI intervendrá 19.561 km viales a nivel nacional, cifra que contrasta con lo señalado por el BID que registró en el 2014 que Colombia disponía de 940 km de vías férreas activas (Ministerio de Transporte, 2015, Fedesarrollo, 2015).

➤ **Efectos del mejoramiento vial en el impacto del atropellamiento**

Las carreteras tienen un fuerte impacto en la estructura, función y composición de especies de los ecosistemas (Coffin, 2007, Forman y Alexander, 1998). Factores como el aumento en la densidad vehicular, de la velocidad y en definitiva mejores condiciones técnicas de las vías influyen en el aumento de los atropellamientos de fauna (De La Ossa & Galván, 2015; De La Ossa et al., 2015; Jensen et al., 2014) lo cual se enfrenta con variables más complejas como los cambios en los patrones reproductivos de la fauna, estaciones de fecundidad, edades de los individuos, sexo, su ecología y comportamiento (Gutiérrez, 2015; Seiler, 2003).

Dado que las redes de carreteras tienen la capacidad de aislar poblaciones, desconectar redes de recursos y causar la degradación irreversible del hábitat a escala de paisaje, es esencial que comprendamos cómo las redes de carreteras existentes impactan en la vida silvestre y cómo el aumento de la densidad de carreteras puede influir en la persistencia de la población local y regional (Bennett, 2017).

Para aquellas especies que tienen distintos corredores de movimiento para acceder a los recursos, que se dispersan para mantener su estructura social o migran estacionalmente, la presencia de una red de carreteras dentro del

paisaje puede tener dos consecuencias, no necesariamente exclusivas. La primera es que, si las carreteras actúan como barreras al movimiento, es posible que las animales no puedan acceder a los recursos alimentarios críticos, las áreas de cría, o evitar la endogamia (Cushman et al., 2013) y la segunda es que cuantos más caminos tenga que cruzar un individuo dentro de su área de distribución, mayor será la probabilidad de una colisión entre vehículos y vida silvestre (Morelle et al., 2013).

Condiciones propias del diseño y funcionamiento de la vía, como la densidad vehicular, los límites de velocidad, las condiciones técnicas, la iluminación o la calidad del asfalto, tienen una influencia importante en la cantidad de atropellamientos de fauna que se presente.

Otro problema emergente es que las carreteras ponen a los humanos en contacto más fácilmente con la vida silvestre. A medida que las redes de carreteras se desarrollan y aumentan la accesibilidad del paisaje, las oportunidades para la caza también aumentan (Vanthomme et al., 2013).

Es importante, como ya se ha dicho a lo largo de esta guía, volver a insistir en la consideración de los efectos que produce el atropellamiento de fauna, la disminución o pérdida de especies es uno de ellos, donde se ven afectadas con una mayor implicación las especies catalogadas en peligro de extinción y otras tantas catalogadas como vulnerables (Seiler & Helldin, 2006).

➤ **Articulación de esta guía con los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia**

En el marco de la Agenda Ambiental Interministerial suscrita entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Ministerio de Transporte se elaboró el documento Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV), que contó con el apoyo de las organizaciones Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS), World Wildlife Fund (WWF-Colombia) y el proyecto GEF Corazón de la Amazonia (Ministerio de Medio Am-



Fuente: autores.

biente y Desarrollo Sostenible, Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible y WWF-Colombia, 2020). Tal como aparece en el documento “Los lineamientos de infraestructura verde vial, son un conjunto de directrices formuladas con el objeto de que los proyectos de infraestructura carretera incorporen de manera integral elementos ambientales, sociales, tecnológicos y de ingeniería para evitar, preve-

nir, mitigar y corregir los potenciales impactos ambientales negativos que puedan generar, obteniendo como resultado de su ejecución, un balance ambiental neto positivo.”

La presente guía se articula con los LIVV al apoyar la aplicación de una metodología estandarizada para el levantamiento de datos que permite caracterizar el impacto del atropellamiento de fauna en las carreteras y brinda ele-



Fuente: Lineamientos de Infraestructura Verde Vial

mentos de juicio para la toma de decisiones en la selección de los lugares a intervenir, aplicando la jerarquía de la mitigación desde etapas tempranas de los proyectos de infraestructura, hasta las de construcción, operación, mantenimiento, rehabilitación, mejoramiento y desmantelamiento.

Existen numerosos beneficios implicados en la adopción de los LIVV desde las fases tempranas de la planeación de los proyectos de infraestructura vial, traducidos en la reducción de costos en el mediano y largo plazo, el aumento de los beneficios generados por los proyectos en cuanto la conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de los servicios ecosistémicos y la generación de una ganancia neta ambiental positiva (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible, WWF-Colombia, proyecto GEF – Corazón de la Amazonia, 2020).

Desde los atributos definidos para la infraestructura verde vial, en particular se resaltan:

- Incorpora medidas de manejo tendientes a evitar los conflictos sociales y ambientales asociados al proyecto vial y/o contribuye a su gestión, generando el empoderamiento del componente ambiental del proyecto por parte de las comunidades.
- Identifica impactos directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos, y establece medidas de manejo adecuadas y efectivas tendientes a generar un balance ambiental neto positivo.
- Favorece la conectividad ecológica y del paisaje.
- Contribuye a la conservación y/o restauración de la estructura, función y dinámica de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

La Tabla 2 presenta las articulaciones de la presente guía con cada uno de los enfoques de Intervención temprana y de cada una de las etapas en las que se aplican los lineamientos de infraestructura verde vial. Como puede observarse la guía aporta a todos y cada uno de los enfoques y es especialmente útil en los lineamientos de los enfoques

2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Tabla 2. Articulación de la guía con los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV).

Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)		Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto	Aportes
1	Enfoque de Intervención Temprana (EIT)		
Componentes	1.1	Marco conceptual	✓ Aporta al marco conceptual desde los lineamientos de la ecología de carreteras
	1.2	Herramientas de análisis	✓ Los diagnósticos se convierten en una herramienta de análisis
	1.3	Arreglos locales para el uso del suelo en zonas adyacentes o de impacto de la vía	✓ Los diagnósticos se convierten en mapas que aportan a los usos del suelo
	1.4	Aspectos de ingeniería “verde” y buenas prácticas ambientales y sociales	✓ Los diagnósticos se convierten en insumos a incorporar en este lineamiento
2	Lineamientos para la planeación estratégica sectorial		
Lineamientos	2.1	Elaborar evaluaciones ambientales estratégicas como parte del proceso de estructuración y expedición de políticas, planes y programas sectoriales.	✓ Los diagnósticos aportan a las evaluaciones ambientales
	2.2	Contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 15 y 13	✓ Los diagnósticos aportan al cumplimiento de los ODS 15 y 13
	2.3	Acoger las determinantes del ordenamiento territorial en el proceso de estructuración y expedición de políticas, planes y programas sectoriales	✓ Aporta a los determinantes del ordenamiento territorial desde los lineamientos de la ecología de carreteras
	2.4	Incorporar la sostenibilidad ambiental en los objetivos de las políticas, planes y programas sectoriales	✓ Aporta a la incorporación de sostenibilidad ambiental desde los lineamientos de la ecología de carreteras

Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)			Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto	Aportes
Lineamientos	2.5	Considerar e incorporar modos de transporte alternativos al carretero, en el proceso de formulación de políticas, planes y programas sectoriales	✓	Los diagnósticos aportan a la selección de modos alternativos de transporte
	2.6	Definir como política la incorporación de análisis de prefactibilidad y factibilidad para la estructuración de proyectos de construcción y mejoramiento de vías de segundo y tercer orden	✓	Los diagnósticos aportan a la definición de la política
3	Lineamientos para la planeación de proyectos a nivel de prefactibilidad			
Lineamientos	3.1	Formular soluciones a las necesidades de conectividad de transporte que consideren e incorporen modos de transporte alternativos al carretero	✓	Los diagnósticos aportan a la selección de modos alternativos de transporte
	3.2	Identificar y seleccionar alternativas de ejecución de proyectos de construcción o intervención de infraestructura carretera que no afecten Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA), o minimicen la afectación sobre ellas	✓	Los diagnósticos aportan a la selección de alternativas de ejecución de proyectos
	3.3	Identificar y seleccionar alternativas de ejecución de proyectos de construcción o intervención de infraestructura carretera que no afecten corredores de conectividad ecológica a escala regional, subregional y local, o minimicen la afectación sobre ellos	✓	Los diagnósticos aportan a la selección de alternativas de ejecución de proyectos carretera que no afecten corredores de conectividad ecológica a escala regional, subregional y local, o minimicen la afectación sobre ellos
	3.4	Identificar y seleccionar alternativas de ejecución de proyectos de construcción o intervención de infraestructura carretera que no afecten áreas de distribución de fauna endémica, migratoria y/o en condición de amenaza o vulnerabilidad, o minimicen la afectación sobre ellas	✓	Los diagnósticos aportan a la selección de alternativas de ejecución de proyectos carretera que no afecten áreas de distribución de fauna endémica, migratoria y/o en condición de amenaza o vulnerabilidad, o minimicen la afectación sobre ellas

Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)			Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto	Aportes
Lineamientos	3.5	Verificar el cumplimiento de requisitos de gobernabilidad que legitimen el proceso de formulación de proyectos de construcción o intervención de infraestructura carretera	✘	No se dan aportes
	3.6	Cuantificar detalladamente los costos aproximados de planeación y ejecución de proyectos de construcción o intervención de infraestructura carretera para todas sus etapas y asegurar la disponibilidad de los respectivos recursos	✘	No se dan aportes
4		Lineamientos para la planeación de proyectos a nivel de factibilidad y diseños definitivos		
Lineamientos	4.1	Elaborar estudios ambientales para proyectos de construcción de infraestructura de transporte que no requieren licencia ambiental	✔	Los diagnósticos aportan a los estudios ambientales
	4.2	Elaborar estudios y diseños para la ejecución de proyectos de construcción o mejoramiento de infraestructura carretera que no afecten o minimicen la afectación de Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA)	✔	Los diagnósticos aportan a los estudios y diseños que no afecten o minimicen la afectación de Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA)
	4.3	Elaborar estudios y diseños para la ejecución de proyectos de construcción o mejoramiento de infraestructura carretera que no afecten corredores de conectividad ecológica a escala regional, subregional y local, o minimicen la afectación sobre ellos	✔	Los diagnósticos aportan a los estudios y diseños que no afecten corredores de conectividad ecológica a escala regional, sub-regional y local, o minimicen la afectación sobre ellos
	4.4	Elaborar estudios y diseños para la ejecución de proyectos de construcción o intervención de infraestructura carretera que no afecten o minimicen la afectación de cuerpos de agua y sus rondas	✔	Los diagnósticos aportan a los estudios y diseños que no afecten o minimicen la afectación de cuerpos de agua y sus rondas
	4.5	Elaborar estudios y diseños de pasos de fauna para la construcción o mejoramiento de infraestructura carretera	✔	Los diagnósticos aportan a elaborar estudios y diseños de pasos de fauna para la construcción o mejoramiento de infraestructura carretera

Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)			Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto	Aportes
Lineamientos	4.6	Formular medidas de compensación de impactos ambientales que se agreguen y complementen a las planteadas por otros proyectos	✓	Los diagnósticos aportan a la formulación de medidas de compensación de impactos ambientales
	4.7	Incorporar consideraciones de diseño para la generación de impactos ambientales netos positivos en la flora y la fauna en el proceso de elaboración de estudios y diseños	✓	Los diagnósticos aportan a la incorporación de consideraciones de diseño para la generación de impactos ambientales netos positivos
	4.8	Verificar la aplicación de los requisitos de gobernanza en el proceso de elaboración de estudios y diseños para la ejecución de proyectos de construcción o intervención de infraestructura carretera	✗	No se dan aportes
	4.9	Cuantificar detalladamente los costos de la elaboración de estudios y diseños, y de la ejecución de proyectos de construcción o intervención de infraestructura carretera y aseguramiento de la disponibilidad de los respectivos recursos	✗	No se dan aportes
5		Lineamientos para la construcción		
Lineamientos	5.1	Verificar el cumplimiento de las especificaciones de los diseños para la ejecución de proyectos de construcción de infraestructura carretera	✓	Los diagnósticos aportan en la verificación el cumplimiento de las especificaciones de los diseños para la ejecución de proyectos de construcción
	5.2	Contemplar estrategias y emprender acciones para preservar y consolidar corredores de conectividad ecológica para la ejecución de proyectos de construcción de infraestructura carretera	✓	Los diagnósticos aportan a contemplar estrategias y emprender acciones para preservar y consolidar corredores de conectividad ecológica
	5.3	Ejecutar obras de drenaje que no afecten o minimicen la afectación de cuerpos de agua y sus rondas	✗	No se dan aportes
	5.4	Generar infraestructura de mitigación de impactos negativos sobre la fauna silvestre para la ejecución de proyectos de construcción de infraestructura carretera	✓	Los diagnósticos aportan a la generación de infraestructura de mitigación de impactos negativos sobre la fauna silvestre

Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)			Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto	Aportes
Lineamientos	5.5	Generar infraestructura de mitigación de impactos negativos sobre la cobertura vegetal y la flora silvestre para la ejecución de proyectos de construcción de infraestructura carretera	✓	Los diagnósticos aportan a la generación de infraestructura de mitigación de impactos negativos sobre la cobertura vegetal y la flora silvestre
	5.6	Optimizar el manejo de materiales durante la ejecución de proyectos de construcción de infraestructura carretera	✗	No se dan aportes
	5.7	Verificar el cumplimiento de requisitos de gobernanza para la ejecución de proyectos de construcción de infraestructura carretera	✗	No se dan aportes
	5.8	Garantizar la disponibilidad de recursos de financiación para la construcción de infraestructura carretera	✗	No se dan aportes
6		Lineamientos para la operación		
Lineamientos	6.1	Caracterizar la infraestructura carretera existente, con el fin de identificar la necesidad de contemplar estrategias y emprender acciones para preservar y consolidar corredores de conectividad ecológica durante la operación de dicha infraestructura	✓	Los diagnósticos aportan a la caracterización de la infraestructura carretera existente
	6.2	Realizar inventario de cruces con cuerpos de agua y sus rondas, y de obras de drenaje con el fin de identificar la necesidad de construir o adecuar este tipo de estructuras	✓	Los diagnósticos aportan en la realización del inventario de cruces con cuerpos de agua y sus rondas, y de obras de drenaje
	6.3	Realizar el monitoreo a la movilidad de la fauna silvestre durante la operación de infraestructura carretera	✓	Los diagnósticos aportan a la realización del monitoreo a la movilidad de la fauna silvestre
	6.4	Realizar el monitoreo a las coberturas naturales durante la operación de infraestructura carretera	✓	Los diagnósticos aportan a la realización del monitoreo a las coberturas naturales

Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)			Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto	Aportes
Lineamientos	6.5	Preservar y mantener la infraestructura de mitigación de impactos negativos sobre la fauna silvestre durante la operación de infraestructura carretera	✓	Los diagnósticos aportan a la preservación y mantenimiento de la infraestructura de mitigación de impactos negativos sobre la fauna silvestre
	6.6	Preservar y mantener la infraestructura de mitigación de impactos negativos sobre la cobertura vegetal y la flora silvestre durante la operación de infraestructura carretera	✓	Los diagnósticos aportan a la preservación y mantenimiento de la infraestructura de mitigación de impactos negativos sobre la cobertura vegetal y la flora silvestre
7 Lineamientos para la intervención (mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento)				
Lineamientos	7.1	Aplicar la metodología de criterios técnicos ambientales para la priorización de vías a intervenir	✓	Los diagnósticos aportan a la definición de los criterios técnicos ambientales para la priorización de vías a intervenir
	7.2	Realizar un diagnóstico de las características del alineamiento y la estructura vial de forma previa a la intervención	✓	Los diagnósticos aportan a la aplicación de la metodología de criterios técnicos ambientales para la priorización de vías
	7.3	Realizar adecuaciones en las obras de drenaje para restablecer la movilidad de la fauna en cuerpos de agua y rondas hídricas	✓	Los diagnósticos aportan a la realización de adecuaciones en las obras de drenaje para restablecer la movilidad de la fauna
	7.4	Identificar potenciales corredores de conectividad ecológica de forma previa a la intervención	✓	Los diagnósticos aportan en la identificación de potenciales corredores de conectividad ecológica
8 Lineamientos para el desmantelamiento				
Lineamientos	8.1	Realizar la identificación de la infraestructura vial que debe ser objeto de desmantelamiento	✓	Los diagnósticos aportan en la identificación de la infraestructura vial
	8.2	Realizar el retiro de la infraestructura existente para el desmantelamiento	✗	No se dan aportes

Lineamientos de Infraestructura Verde Vial para Colombia (LIVV)			Atropellamiento de fauna silvestre en Colombia: Guía para entender y diagnosticar este impacto	Aportes
8.3	Realizar la restauración del área intervenida		✓	Esta guía aporta en la definición de medidas de adecuación y conectividad para restablecer el ambiente en las zonas de infraestructura desmantelada

10. Conclusiones y recomendaciones



Fuente: Concesión Girardot – Honda – Puerto Salgar

10. Conclusiones y recomendaciones

1. Frente a los retos ambientales actuales se hace necesario implementar estrategias que promuevan una armonía entre el desarrollo de las poblaciones humanas y el medio natural como proveedor de bienes y servicios. Es por esto que es fundamental que los proyectos de infraestructura vial que se planeen incluyan en sus diseños las necesidades de la fauna silvestre, así como la preservación de los hábitats. Es momento de asumir el reto de llevar a cabo proyectos de infraestructura vial armónicos con los ecosistemas y los organismos que los habitan para que en Colombia se comiencen a construir vías verdes.
2. Esta guía no es un paso a paso para construir pasos de fauna o para determinar puntos críticos de atropellamiento; esta guía fue construida con el propósito de convertirse en un documento que le

proporcionará al lector información base para el entendimiento de los principales aspectos e impactos, que se derivan de la construcción y operación de las infraestructuras viales. Adicionalmente, se presenta una metodología para hacer la evaluación del atropellamiento de fauna (diagnóstico) o levantamiento de información y recomendaciones para el trabajo en campo. Esta información puede ser implementada en cualquier vía del país, sin embargo, es importante tener en cuenta que la metodología que se debe elegir está sujeta a la zona de estudio que se va a evaluar, las características de la vía y la vegetación o paisaje adyacente. En este documento también se enumeran algunas de las estrategias que pueden ser implementadas para evitar y mitigar los impactos generados por las vías.

3. La implementación de las estrategias para evitar y mitigar impactos como el atropellamiento de fauna, debe responder a resultados de estudios de diagnóstico del atropellamiento, realizados con una metodología estandarizada y sistemática que permita determinar cuáles son las zonas donde se encuentran concentrados los puntos de atropellamiento. Adicionalmente, se deben realizar análisis que permitan determinar la conectividad de la zona. Esta información, al igual que la vegetación o paisaje adyacente a la vía, el tipo de especies que están siendo más afectadas, su biología, hábitos y comportamiento es fundamental para determinar las medidas que deben usarse y las zonas prioritarias a intervenir en la vía que se está estudiando.
4. Los estudios sobre atropellamiento de fauna realizados con apoyo de una metodología estandarizada permiten información confiable para la toma de decisiones, sin embargo, es muy importante incorporar elementos estadísticos y el apoyo de herramientas SIG, para lograr apartar el azar del proceso de selección de los sitios de ubicación de las medidas que, prevengan y mitiguen la problemática del atropellamiento.
5. Es muy importante explorar la posibi-

lidad de la declaratoria, como áreas de conservación, de los fragmentos de coberturas naturales y los corredores de conectividad asociados a los pasos de fauna.

6. El personal designado para realizar el diagnóstico de atropellamiento de fauna en la vía debe ser capacitado previamente y debe contar con todos los implementos de seguridad necesarios para no exponer su vida ni la del equipo de trabajo durante el levantamiento de información o monitoreos.
7. Es importante complementar los datos recolectados en la vía para el diagnóstico de atropellamiento de fauna silvestre, con la información que pueda brindar la comunidad adyacente a los proyectos viales, las personas que viven cerca de la carretera, escuelas, centros sociales, organizaciones, entre otros actores importantes que hayan observado las dinámicas de la fauna la zona de estudio.
8. Es recomendable que, una vez realizados los estudios sobre la problemática de atropellamiento en una zona, la información recolectada ayude a generar campañas y programas de educación ambiental orientados a los habitantes de la zona y los usuarios de las vías. Estas campañas

pueden ser realizadas con el apoyo de las autoridades locales, concesiones viales, administradores viales y autoridades ambientales.

9. Cualquier proceso que busque estandarizar una distancia específica o busque implementar medidas con intervalos específicos sobre la vía, no tiene sentido desde el punto de vista técnico ya que incrementaría los costos de las obras de infraestructura al construir medidas de mitigación al atropellamiento que no son funcionales, porque desconocen los factores necesarios para estimar los puntos de acumulación de colisiones, los factores ecológicos, biológicos o técnicos de las vías, que tienen que ver con el fenómeno.

Créditos fotografías 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20: ITM- PECIV.

11. Bibliografía

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.

Agencia Nacional de Infraestructura - ANI (2020). Transparencia y acceso a la información pública. https://www.ani.gov.co/sites/default/files/listado_concesiones

Andrews, K. M., Nanjappa, P., & Riley, S. P. D. (2015). *Roads and ecological infrastructure: concepts and applications for small animals*. Johns Hopkins University Press.

Arévalo-Huezo, E., Pomareda-García, E., & Araya-Gamboa, D. (2018). Caminos respetuosos con los animales. En Bager A. (ed.), *Infraestructura Viaria & Biodiversidade: Métodos e Diagnósticos*. (pp. 203-214). Editora UFLA.

Artavia, A. (2015). Identificación y caracterización de cruces de fauna silvestre en la sección de la ampliación de la carretera nacional Ruta 32, Limón, Costa Rica. [tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Institucional CATIE. <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/>

[handle/11554/7083](https://doi.org/10.11554/7083)

Bager, A. (2012). *Ecologia de Estradas: tendências e pesquisas*. Editora UFLA.

Bager, A. (2018). *Infraestrutura Viária & Biodiversidade: Métodos e Diagnósticos*. Editora UFLA.

Bager, A., & Castro, E. P. (2018). Protocolo de Monitoramento de Fauna Atropelada: uma proposta unificadora. En Bager A. (ed.), *Infraestructura Viaria & Biodiversidade: Métodos e Diagnósticos*. (pp. 51-70). Editora UFLA.

Bager, A., & Fontoura, V. (2013). Evaluation of the effectiveness of a wildlife roadkill mitigation system in wetland habitat. *Ecological Engineering*, 53, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2013.01.006>.

Bager, A., Lucas, P. d. S., Bourscheit, A., Kuczach, A., & Maia, B. (2016). Os caminhos da conservação da biodiversidade brasileira frente aos Impactos da Infraestrutura viária. *Biodiversidade Brasileira*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.530>

Balkenhol, N., & Waits, L. P. (2009). Molecular road ecology: exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. *Molecular Ecology*, 18(20), 4151-4164. [doi:10.1111/j.1365-294X.2009.04322.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04322.x).

Bedoya-V, M. M., Arias-Alzate, A., & Delgado-V, C. A. (2018). Atropellamientos de fauna silvestre en la red vial urbana de cinco ciudades del Valle de Aburr. (Antioquia, Colombia) / Roadkills in the urban road network of five cities in the Aburra valley (Antioquia, Colombia). *Caldasia*, 40(2), 335-348. [10.15446/caldasia.v40n2.68297](https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.68297)

Benavides, J., Cárdenas, C., & Prieto, J. L. (2015). Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) 2015-2035: Infraestructura para el comercio exterior, el desarrollo regional y la integración del territorio. FEDESARROLLO. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2462/PMTI_30_NOV_2015_INF_FINAL.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Bennett, V. J. (2017). Effects of Road Density and Pattern on the Conservation of Species and Biodiversity. *Current Landscape Ecology Reports*, 2(1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40823-017-0020-6>.

Betancur, E., & Cañón, J. E. (2016). La ciencia ciudadana como herramienta de aprendizaje significativo en educación para la conservación de la biodiversidad en Colombia. *Revista Científica En Ciencias Ambientales y Sostenibilidad-CAS*, 3(2), 15.

Cabrera-Casas, L. X., Robayo-Palacio, L. M., & Vargas-Salinas, F. (2020). Persistence of snake carcasses on roads and its potential effect on

estimating roadkills in a megadiverse country. *Amphibian & Reptile Conservation*, 14(1), 163-173.

Cano Gómez, C. A. (2016). Pasos de fauna [tesis Especialista, Universidad Nacional Autónoma de México], Repositorio Institucional UNAM. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000751190

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.

Chávez, C., de la Torre, J. A., Barcenás, H., Medellín, R., Zarza, H., & Ceballos, G. (2013). Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre. El jaguar en México como estudio de caso. Edición Alianza WWF-Telcel, Universidad Nacional Autónoma de México.

Clevenger, A., & Huijser, M. (2011). *Wildlife Crossing Structure Handbook, Design and Evaluation in North America*. Ed. US Department of Transportation.

Coelho, A. V., Coelho, I. P., Kindel, A., & Teixeira, F. Z. (2014). Road mortality software Siriema: road mortality software. *User's Manual V. 2.0.*, 34.

Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396-406. 10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006.

Constitución Política de Colombia (Const). Art. 8. 7 de julio de 1991 (Colombia).

Constitución Política de Colombia (Const). Art. 58. 7 de julio de 1991 (Colombia).

Constitución Política de Colombia (Const). Art. 79. 7 de julio de 1991 (Colombia).

Constitución Política de Colombia (Const). Art. 80. 7 de julio de 1991 (Colombia).

Constitución Política de Colombia (Const). Art. 95. 7 de julio de 1991 (Colombia).

Cushman, S. A., Lewis, J. S., & Landguth, E. L. (2013). Evaluating the intersection of a regional wildlife connectivity network with highways. *Movement Ecology*, 1(1), 12.

Corpoguajira & Fundación Biota. (2012). Caracterización y monitoreo de la mortalidad de pequeños mamíferos silvestres en los corredores viales del departamento de La Guajira. Informe Técnico. Corpoguajira y Fundación Biota.

Davenport, J., & Davenport, J. (2006). *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for*

the Environment. Ed. Springer Science & Business Media.

Decreto 1076 de 2015 (con fuerza de ley). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 26 de mayo de 2015. D. O. No. 49523

Decreto 1608 de 1978 (con fuerza de ley). Por medio del cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y la Ley 23 de 1973 en materia de fauna silvestre. 31 de julio de 1978. D. O. No. 35084

Decreto 2811 de 1974 (con fuerza de ley). Por medio del cual se expide el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 27 de enero de 1974. D.O. No. 34243.

De La Ossa-V, J., & Galván-Guevara, S. (2015). Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo - Ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombia*, 16(1), 66-77.

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 atropello

pellamiento 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. (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 La Ossa-V, J., De La Ossa-Nadjar, O., & Medina-Bohórquez, E. (2015). Atropellamiento de fauna silvestre. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 7(1), 109-116.

De La Ossa-V, J., & Galván-Guevara, S. (2015). Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo - Ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombia*, 16(1), 66-77.

Deloitte. (2019). Reporte Global de Competitividad 2019. Datos clave del sector infraestructura. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/gt/Documents/finance/191009-Deloitte-Reporte-Global-Competitividad.pdf>

Erritzoe, J., Mazgajski, T. D., & Rejt, Ł. (2003). Bird casualties on European roads—a review. *Acta Ornithologica*, 38(2), 77-93.

Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Modelling the conversion of Colum-

bian lowland ecosystems since 1940: Drivers, patterns and rates. *Journal of Environmental Management*, 79(1), 74-87. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.05.017>

Evink, G. L. (1990). Wildlife Crossings of Florida I-75. *Transportation Research Record*, (1279), 54-59.

Fahrig, L., & Rytwinski, T. (2009). Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society*, 14(1). 10.5751/ES-02815-140121.

Fedesarrollo. (2015). Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) 2015-2035: Infraestructura para el comercio exterior, el desarrollo regional y la integración del territorio. Compilación final de entregables elaborados para el pmti. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/2462/PMTI_30_NOV_2015_INF_FINAL.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Flórez-Oliveros F.J., & Vivas-Serna C., (2020). Zarigüeyas (chuchas comunes), marmosas y colicortos en Colombia. Fundación Zarigüeya – FUNDZAR.

Forman, R. T. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 207-231. 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207

Forman, R. T. T., & Deblinger, R. D. (2000). The ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) suburban highway. *Conservation Biology*, 14(1), 36-46. 10.1046/j.1523-1739.2000.99088.x.

Forman, R. T. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., & Swans, F. J. (2003). *Road ecology: Science and solutions*. Ed. Island Press.

Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>.

Getis, A., & Ord, J. K. (1995). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*, 27(4), 21. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00912.x>.

González-Gallina, A., & Benítez-Badillo, G. (2018). How road ecology is helping to build sustainable roads in Mexico. En Bager A. (ed.), *Infraestructura Viaria & Biodiversidade: Métodos e Diagnósticos*. (pp. 255-267). Editora UFLA.

González-Vélez, J., Torres-Madronero, M., Murillo-Escobar, J., & Jaramillo-Fayad, J C. (2021). An artificial intelligent framework for prediction of wildlife vehicle collision hotspots based on geographic information systems and multispec-

tral imagery. *Ecological Informatics*, 63, 101291. [https://doi: 10.1016/j.ecoinf.2021.101291](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101291)

Gutiérrez, O. (2015). La carretera Bogotá-Villavieja, su impacto sobre el ordenamiento territorial y el ecosistema. *Revista Luna Azul*, (40), 277-292.

Guzmán, D., Ruíz, J. F., & Cadena, M. (2014). Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales (ACP). Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático. Subdirección de Meteorología-IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21141/Regionalizacion+de+la+Precipitacion+Media+Mensual/1239c8b3-299d-4099-bf52-55a414557119>

Instituto Nacional de Vías - INVIAS (2011). Guía Ambiental para Proyectos de Infraestructura Sector Vial. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/guia-de-manejo-ambiental-de-proyectos/971-guia-de-manejo-ambiental/fileINVIAS->

Instituto Nacional de Vías - INVIAS (2014). Manual de servicios de consultoría para estudios y diseños, interventoría de estudios y diseños y gerencia de proyectos en INVIAS. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/>

documentos-tecnicos/3240-manual-de-servicios-de-consultoria-para-el-invias.

Luell, B., Bekker, H., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., & Wandall, B. L. M. (2003). *Wildlife and Traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions*. Ed. European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research.

Jaramillo-Fayad, J.C., González-Vélez, J. C., Barberi-Ríos, J., & Hernández-Olarte, M. (2020). Atropellamiento. En Francisco Javier Florez & Carolina Vivas (eds.), *Zarigüeyas (chuchas comunes) marmosas y colicortos en Colombia* (pp. 161-169). Fundación Zarigüeya – FUNDZAR.

Jaramillo, J. C., González, J. L., Velásquez, M. M., Ayram, C. C., & Isaccs, P. (2017). Los Animales Atropellados de Colombia. Estrategias para mitigar los efectos de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre. *Biodiversidad 2017. Reporte de estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Jaramillo-Fayad, J. C., Vargas-Salinas, F., V. López, M. M., G. Manosalva, J. L., & Pava, D C. R. (2018). Historia vial de Colombia. En Bager A. (ed.), *Infraestructura Viaria & Biodiversidade: Métodos e Diagnósticos*. (pp. 219-243). Editora UFLA.

Jensen, R., Gonser, R., & Joyner, C. (2014). Landscape factors that contribute to animal-vehicle collisions in two northern Utah canyons. *Applied Geography*, 50, 74-79.

Langen, T., & Sáenz, J. C. (2009). Impact of Public Roads on Costa Rica National Parks. Report to National Geographic Society (NGS CRE Grant 8219-07).

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. 6 de enero de 2016. D. O. No. 49747.

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. 22 de diciembre de 1993. D. O. No. 41146.

López, M. (2004). Los otros "peatones". *Tráfico y seguridad vial*, (167), 36-39.

López-Herrera, D. F., León-Yusti, M., Guevara-Molina, S. C., & Vargas-Salinas, F. (2016). Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, departamento del Quindío, Colombia. Re-

vista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 40(156), 484-493. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.334>

Mader, H. J., Schell, C., & Kornacker, P. (1990). Linear barriers to arthropod movements in the landscape. *Biological Conservation*, 54(3), 209-222. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(90\)90052-Q](https://doi.org/10.1016/0006-3207(90)90052-Q).

Mata Estacio, C. (2007). Utilización por vertebrados terrestres de los pasos de faunas y otras estructuras transversales de dos autovías del centro-noroeste peninsular. [tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Madrid]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/2384>

Meza-Joya, F. L., Ramos, E., & Cardona, D. (2019). Spatio-temporal patterns of mammal road mortality in Middle Magdalena Valley, Colombia. *Oecologia Australis*, 23(03), 575-588.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada). Madrid, España.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Política Nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE). Ministerio de Ambiente y Desa-

rollo Sostenible. http://www.humboldt.org.co/images/pdf/PNGIBSE_espa%C3%B1ol_web.pdf

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 Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). Indicadores de fragmentación de hábitats causada por infraestructuras lineales de transporte. Organismo Autónomo Parques Nacionales.

Ministerio de Transporte. (2015). Plan Maestro de Transporte Intermodal. <https://plc.mintransporte.gov.co/Portals/0/News/pmtinov11.pdf>

Ministerio de Transporte. (2016). PMTI, Una política de estado para hacer de Colombia un país más competitivo. <https://www.infraestructura.org.co/nuevapagweb/descargas/PMTI.pdf>

Ministerio de Transporte. (2019). Estadísticas. <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/15/estadisticas/>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Documentos del grupo

de trabajo sobre fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte. <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/conectividad-fragmentacion-de-habitats-y-restauracion/fragm-documentos-grupo-trabajo.aspx>

Monroy, M. C., De La Ossa-Lacayo, A., & De La Ossa, V. J., (2015). Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre-María La Baja, Caribe Colombiano. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(27), 88-95.

Morantes Hernández, P. J. (2017). Caracterización de las iniciativas encaminadas a reducir la mortalidad de fauna silvestre en carretera: panorama Colombia. [monografía de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16945>

Morelle, K., Lehaire, F., & Lejeune, P. (2013). Spatio-temporal patterns of wildlife-vehicle collisions in a region with a high-density road network. *Nature Conservation*, 5, 53-73. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.5.4634>

Ossa Gomez, C. A., Montaña Barrantes, C., Beltrán Piñeros, D. A., Rodriguez, D. C., Villazón Escobar, D., Amaya Cruz, F., & Rueda Castañeda, V.

(2011). Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura subsector vial. (2.a ed.). Instituto Nacional de Vías y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Oxley, D. J., Fenton, M. B., & Carmody, G. R. (1974). The effects of roads on populations of small mammals. *Journal of Applied Ecology*, 11(1), 51-59. <https://doi.org/10.2307/2402004>

Payan, E., Soto, C., Diaz-Pulido, A., Benítez, A., & Hernández, A. (2013). Wildlife road crossing and mortality: lessons for wildlife friendly road design in Colombia. *Proceedings of the 2013 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET)*.

Pomareda García, E., Araya Gamboa, D., Ríos Montero, Y., Arévalo Huezó, E., Aguilar Ruiz, M. C., & Menacho Odio, R. M. (2014). Guía Ambiental "Vías Amigables con la Vida Silvestre": Comité Científico de la Comisión Vías y Vida Silvestre. Comité Científico de la Comisión Vías y Vida Silvestre.

Quintero, J. D. (2016). Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables. The Nature Conservancy. <https://fcds.org.co/wp-content/uploads/2021/01/carreteras-ambientalmente-amigables-02-2016.pdf>

Quintero-Ángel, A., Osorio-Dominguez, D., Vargas-Salinas, F., & Saavedra-Rodríguez, C. A.

(2012). Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. *Herpetology Notes*, 5, 99-105.

Quintero Pinzón, D. C., Cortés Cardona, A. C., Martínez Zuleta, C., Ramos Sánchez, L., Lacoste, M., Gordillo Restrepo, F., & Forero Molano, J. P. (2014). Plan Vías-CC: Vías Compatibles con el Clima - Plan de Adaptación de la Red Vial Primaria de Colombia. Ministerio de Transporte, Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Agencia Nacional de Infraestructura, Instituto Nacional de Vías, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/Plan_V%C3%ADas-CC_V%C3%ADas_Compatibles_con_el_Clima.pdf

RACC. (2011). Accidentes de tráfico con animales. Análisis de la situación a nivel europeo y español. Dirección General de Tráfico.

Ramírez Martínez, N. M., Hincapié Posada, J. E., Fernández, M. A., Ruiz Hernández, J. A., & Lozano Rodríguez, L. A. (2018). Manual de compensación del componente biótico. (3a ed.). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ramos, E., & Meza-Joya, F. L. (2018). Reptile

road mortality in a fragmented landscape of the middle Magdalena Valley, Colombia. *Herpetology Notes*, 11, 81-91. <https://www.biotaxa.org/hn/article/view/29825/31203>

República de Colombia, Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías - INVIAS. (2009). Manual de drenaje para carreteras. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>.

Resolución 1517 de 2012 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Por la cual se adopta el Manual para la Asignación de Compensaciones por Pérdida de Biodiversidad. 31 de agosto del 2012.

Resolución 0256 de 2018 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Por la cual se adopta la actualización del Manual de Compensaciones Ambientales del Componente Biótico y se toman otras determinaciones. 22 de febrero de 2018.

Rincón-Aranguri, M., Urbina-Cardona, N., Galeano, S. P., Bock, B. C., & Paez, V. P. (2019). Road Kill of Snakes on a Highway in an Orinoco Ecosystem: Landscape Factors and Species Traits Related to Their Mortality. *Tropical Conservation Science*, 12, 1940082919830832.

Ministerio de Transporte

Dirección: Calle 24 # 60 - 50 Piso 9, Centro
Comercial Gran Estación II (Bogotá, D.C - Colombia)

PBX: (+57 1) 3240800

Línea de servicio al ciudadano: (+57 1) 3240800 op. 2

Línea gratuita nacional: 01 8000 112042

Línea de transparencia: 01 8000 110950

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Dirección: Calle 37 No. 8 - 40 (Bogotá, D.C - Colombia)

PBX: (+57 1) 3323400

Línea gratuita nacional: 01 8000 919301

Correo electrónico:

servicioalciudadano@minambiente.gov.co

soytransparente@minambiente.gov.co

Institución Universitaria ITM

Campus Robledo en Medellín

Dirección: Calle 73 No. 76A - 354, Vía al Volador
(Medellín, Antioquia - Colombia)

Teléfono: (+574) 440 51 00

Fax: (+574) 440 51 02

Línea gratuita nacional: 018000 510131