



Ambiente

GUÍA AMBIENTAL DE PASOS DE FAUNA SILVESTRE EN INFRAESTRUCTURA LINEAL



Corazón de la
Amazonía



ASL

Programa Pasajero
Sostenible de la Amazonía



GRUPO BANCO MUNDIAL

Financiador



**GUÍA AMBIENTAL DE PASOS
DE FAUNA SILVESTRE EN
INFRAESTRUCTURA LINEAL**

REPÚBLICA DE COLOMBIA

GUSTAVO FRANCISCO PETRO URREGO
Presidente de la República

IRENE VÉLEZ TORRES
**Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible
(E)**

EDITH BASTIDAS CALDERÓN
**Viceministro de Políticas y Normalización
Ambiental**

YIOVANI PALECHOR MOPÁN
**Director de Asuntos Ambientales
Sectorial y Urbana**

MARIO ORLANDO LÓPEZ CASTRO
**Asesor de la Dirección de Asuntos
Ambientales
Sectorial y Urbana
Coordinación técnica**

DANIEL CAMILO RODRÍGUEZ PAVA
**Consultor sectorial de la Dirección de Asuntos
Ambientales Sectorial y Urbana
GEF - Corazón de la Amazonia
Asesoría técnica**

LINA MARGARITA ANNICCHIARICO VILLAREAL
**Consultor sectorial de la Dirección de Asuntos
Ambientales Sectorial y Urbana
GEF - Corazón de la Amazonia
Asesoría técnica**

PROYECTO ASL CORAZÓN DE LA AMAZONÍA

LUZ ADRIANA RODRÍGUEZ
Coordinadora general

MARCELA RODRIGUEZ SALGUERO
Profesional especializada comunicaciones

Autor
DARIO CORREA QUIÑONES

Análisis de Costos
JAIME CARRIZOSA LORA

Fotografía
DARIO CORREA QUIÑONES

Derechos y autorizaciones

Los contenidos de esta publicación son de autoría del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, elaborados en el marco del proyecto Corazón de la Amazonía, financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), con el Banco Mundial como agencia GEF encargada de su supervisión. El proyecto es ejecutado por el Fondo Patrimonio Natural bajo el liderazgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en coordinación con Parques Nacionales Naturales de Colombia, los Institutos IDEAM y Sinchi, las Corporaciones CDA y Corpoamazonia. El proyecto Corazón de la Amazonia es parte del Programa Paisajes Sostenibles de la Amazonia financiado por el GEF y bajo la coordinación del Banco Mundial.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita

Cualquier consulta sobre derechos y licencias, incluidos los derechos subsidiarios, debe dirigirse al correo electrónico: molopez@minambiente.gov.co



Tabla de contenido

1	Introducción.....	5
2	Glosario	8
3	Marco de Referencia	14
3.1	Impactos ambientales de la infraestructura vial	14
3.2	Impactos indirectos, sinérgicos y acumulativos de la infraestructura vial.	14
3.3	Impactos de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre.	15
3.3.1	Contaminación acústica.....	15
3.3.2	Contaminación lumínica	16
3.3.3	Dispersión de especies.....	16
3.3.4	Impacto de aislamiento de poblaciones.....	17
3.3.5	Pérdida de individuos por atropellamiento.....	18
4	Lineamientos generales para evitar, mitigar, corregir y compensar impactos a la fauna silvestre.	19
4.1	Medidas para evitar o minimizar el atropellamiento de fauna silvestre y el aislamiento de poblaciones.	20
4.1.1	Evitar trazados al interior, o muy cerca de áreas de alta sensibilidad ambiental.....	21
4.1.2	Minimizar la intervención en áreas de alta sensibilidad ambiental.....	23
4.2	Medidas para mitigar el atropellamiento de fauna silvestre y el aislamiento de poblaciones, desde el diseño de la infraestructura de transporte.....	25
4.2.1	Diseño geométrico de la vía:	25
4.2.2	Limitar el acceso de fauna al corredor de transporte.....	26
4.2.3	Generar permeabilidad de la infraestructura de transporte	29
4.3	Medidas para incidir en el comportamiento de los conductores.....	30
4.3.1	Señalización	30
4.3.2	Control de la velocidad de tránsito vehicular	31
4.3.3	Control de la densidad y/o de los horarios de uso de las vías.....	31
4.3.4	Cierres temporales	32
4.3.5	Cierres definitivos	33
4.4	Medidas para compensar el atropellamiento de fauna silvestre y el aislamiento de poblaciones.	34
4.5	Medidas de manejo enfocadas a la atención de otros impactos de la infraestructura de transporte	35
4.5.1	Mitigación del ruido.....	36
4.5.2	Mitigación de la iluminación.....	37
4.5.3	Control de la dispersión de especies invasoras.....	38
5	Grupos y especies focales de fauna, criterios de selección y de movilidad	39
5.1	Criterios de conectividad funcional.....	39
5.2	Criterios de limitaciones al desplazamiento.	39
5.3	Criterios poblacionales.....	40
5.4	Grupos y especies priorizadas para la Amazonia colombiana.	40
5.4.1	Aves.....	41
5.4.2	Mamíferos.....	46
5.4.3	Reptiles:.....	57

5.4.4	Anfibios.....	60
5.4.5	Peces.....	62
6	Lineamientos para construcción y/o adaptación de pasos de fauna	66
6.1	Toma de decisiones	66
6.1.1	¿Cuándo se deben incluir pasos de fauna?	66
6.1.2	¿Dónde se deben ubicar los pasos de fauna?	69
6.1.3	¿Cuántos pasos de fauna deben ser?.....	70
6.1.4	¿Qué tipos (tipología general) de pasos de fauna se deben implementar?.....	74
6.2	Síntesis de la información requerida para toma de decisiones alrededor de los Sistemas de pasos de fauna.....	79
6.2.1	Inventario de obras hidráulicas, puentes y túneles.....	79
6.2.2	Análisis de fragmentación y conectividad.	80
6.2.3	Monitoreo de atropellamientos de fauna silvestre.....	80
6.2.4	Papel de las herramientas de “ciencia ciudadana”.	82
6.2.5	Monitoreo del estado de las poblaciones de grupos con alta probabilidad de ser afectados por el efecto de barrera.	83
6.2.6	Evaluación de la efectividad de los pasos de fauna existentes	83
6.3	Parámetros de diseño para los pasos de fauna silvestre	84
Ficha 1.	Puente de dosel.....	87
Ficha 2.	Paso superior: Ecoducto.....	92
Ficha 3.	Paso inferior: Viaductos.....	98
Ficha 4.	Estructuras hidráulicas mayores: Puentes.....	103
Ficha 5.	Estructuras hidráulicas menores: Box culvert (alcantarillas de sección cuadrada) 108	
Ficha 6.	Estructuras hidráulicas menores: Alcantarillas	113
Ficha 7.	Zanjas abiertas o alcantarillas superficiales	118
Ficha 8.	Pasos para fauna acuática	122
Ficha 9.	Barreras para encauzar la fauna hacia el paso seguro	126
6.4	Monitoreo de la eficiencia de los pasos de fauna silvestre.....	133
6.5	Propuesta de señalización vial para pasos de fauna silvestre.	134
7	Identificación de las tipologías de paso de fauna silvestre adecuadas para las especies focales.....	142
7.1	Aves	142
7.2	Mamíferos	144
7.3	Reptiles	150
7.4	Anfibios	151
7.5	Peces	152
8	Elementos de base para un análisis financiero de los pasos de fauna silvestre. 154	
8.1	Costos generales de una carretera:	154
8.2	Costo relativo de los pasos de fauna silvestre	158
8.3	Fuentes y mecanismos de financiación.....	159
8.4	Recomendaciones.....	160
9	Bibliografía	161

1 Introducción

La infraestructura de transporte permite el transporte de carga y pasajeros de un lugar a otro con relativa facilidad, y evitando o al menos simplificando el cruce de accidentes del relieve y cuerpos de agua. Sin embargo, la construcción, operación y mantenimiento de esta infraestructura genera impactos ambientales directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos de diversos tipos, que deben ser identificados y analizados para darles un manejo adecuado y acorde a la jerarquía de la mitigación. Las actividades de construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura vial son oportunidades para incorporar las mejores prácticas en términos de diseño, ingeniería y recursos tecnológicos, contemplando medidas de manejo para evitar, mitigar y corregir los impactos ambientales, inclusive durante la etapa de operación.

La incorporación de infraestructura verde vial en proyectos de infraestructura vial se orienta a incluir acciones de protección ambiental desde las instancias más tempranas. Desde las etapas iniciales de planeación y diseño se deben implementar acciones para evitar y mitigar impactos durante la construcción y operación, de modo que en suma generen impactos ambientales positivos. La implementación de pasos de fauna no solo contribuye a la conservación de la biodiversidad, sino que también puede reducir los costos asociados con la rehabilitación de hábitats fragmentados y los costos de mantenimiento vial debido a daños causados por la fauna.

Un conjunto especialmente perjudicial y diverso de impactos ambientales de la infraestructura vial es el que se genera sobre la fauna silvestre, incluyendo la transformación de paisajes, ecosistemas, coberturas vegetales, y hábitats, de forma directa como durante la remoción de vegetación en la etapa de construcción o por el atropellamiento en la etapa de operación, o por la fragmentación de los ecosistemas y la separación de las poblaciones de fauna que genera, llevando a una disminución de los flujos genéticos entre demos poblacionales y en consecuencia, a una pérdida de biodiversidad.

El atropellamiento de fauna silvestre ha sido estimado para algunos países, llegando a cifras tan altas como 475 millones de animales al año en Brasil (Sistema Urubu, 2020), y a un millón de animales cada día en los Estados Unidos (Forman & Alexander, 1998), cifras que superan ampliamente cualquier estimativo de pérdidas por caza y tráfico ilegal de fauna silvestre. A esas cifras, se le debe agregar el riesgo de extinción de poblaciones enteras por causa de la fragmentación y por la interrupción de los flujos genéticos entre demos poblacionales.

Las estructuras que permiten el paso seguro de la fauna de un lado a otro de las vías, conocidas como “pasos de fauna” reestablecen parcialmente la conectividad y reducen el atropellamiento, y por lo tanto, al ser implementadas en arreglos que

atiendan las necesidades de diferentes grupos de fauna, se constituyen en herramientas indispensables para la conservación de la biodiversidad. Teniendo en cuenta que para que sean funcionales, estos pasos de fauna deben diseñarse con base en las condiciones específicas que se adapten tanto a las condiciones orográficas y de diseño vial, como a las características y limitaciones de la fauna a la que pretenden servir, razón por la cual se hace necesario contar con un documento que adaptando la información disponible en la literatura especializada, de lineamientos claros para la construcción y el monitoreo de pasos de fauna en Colombia.

Esta Guía se elaboró por medio de una consultoría para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con apoyo de recursos del componente sectorial del programa Corazón de la Amazonia que busca dar respuesta a la tasa de deforestación actual, la cual pone en peligro inminente la conectividad ecológica entre los bosques de los Andes y la Amazonía colombiana. Está diseñada de modo que aporte información práctica a los diferentes actores relacionados con el diseño, construcción, mejoramiento, rehabilitación, y mantenimiento de la infraestructura vial, para orientar las decisiones alrededor de garantizar la permeabilidad de las vías para la fauna silvestre, proporcionando lineamientos técnicos e información financiera. Para el lector que quiera profundizar en cada tema, la bibliografía citada es profusa y no se limita al nivel regional.

La Guía presenta en su parte inicial, una síntesis de los impactos de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre (capítulo 3), junto con una síntesis de las medidas de manejo para dichos impactos (capítulo 4).

En el capítulo 5 se desarrolla un ejercicio de selección de especies y grupos focales de fauna silvestre, a manera de ejemplo, enfocado en la fauna vertebrada de la Amazonia colombiana, y que si bien no pretende ser exhaustivo por la falta de información sobre el impacto de las vías sobre algunos grupos, se enfoca en aquellos grupos que se han reconocido tradicionalmente como los más afectados por el efecto barrera.

El capítulo 6 ofrece lineamientos para responder a las preguntas de cuándo se requieren sistemas de pasos de fauna, dónde se debe ubicar, cuántos deberían ser, cuáles tipologías utilizar, y finaliza con fichas específicas de lineamientos e ilustraciones para cada una de las 8 tipologías de estructuras que pueden ser empleadas, además de lineamientos para las barreras complementarias, el monitoreo de la efectividad de las estructuras, y una propuesta de señalización. Este capítulo se complementa con la información del capítulo 7 que condensa, para las especies focales identificadas para la Amazonia, las tipologías de estructura más adecuadas.

Finalmente, en el capítulo 8 se presenta un análisis de costos de adopción de sistemas de pasos de fauna tanto para proyectos ya construidos, como para



proyectos que están en instancias de planeación. Ese análisis fue construido con base en la información de costos unitarios de la territorial Caquetá, del Instituto Nacional de Vías (Invias), y muestra que podrían llegar a ser costos marginales dentro de los costos de intervención en un proyecto carretero, especialmente al reducir la vulnerabilidad de las vías ante eventos de avenidas torrenciales y crecientes súbitas, reduciendo entonces los costos de mantenimiento y los costos socioeconómicos de la interrupción temporal del servicio.

Para finalizar, se llama la atención de los tomadores de decisiones sobre los beneficios que implica la adopción de los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial (LIVV) desde las fases tempranas de la planeación de los proyectos de infraestructura vial, como herramientas de reducción de costos en el mediano y largo plazo, y como herramientas para aumentar los beneficios generados por los proyectos, manteniendo la viabilidad de los servicios ecosistémicos, generando una ganancia neta ambiental, guardando coherencia y articulación con la Política Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (2012).

2 Glosario

Alcantarilla: tipo de obra de cruce o de drenaje transversal, que tienen por objeto dar paso rápido al agua que, por no poder desviarse en otra forma, tenga que cruzar de un lado a otro del camino (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Área de especial interés ambiental (AEIA): es aquella superficie de territorio que, por sus características ambientales, su importancia ecosistémica, la biodiversidad que alberga, los beneficios ecosistémicos que presta y su localización, constituye un objeto de conservación. (Plan de Zonificación Ambiental objeto del Punto 1.1.10 del Acuerdo Final de Paz, Minambiente, 2021).

Box culvert: alcantarilla de sección cuadrada (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Coeficiente de apertura: Ver “índice de apertura”.

Corona: conjunto formado por la calzada y las bermas (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Conectividad: característica del paisaje que define la capacidad movimiento y dispersión de las especies, el intercambio genético, y otros flujos ecológicos a través de sus elementos constituyentes.

Conectividad Estructural: se asocia directamente con la configuración espacial del paisaje, es decir con la continuidad de características físicas.

Conectividad Funcional o Ecológica: se asocia con el desarrollo de flujos ecológicos, por lo que depende del grupo biológico o proceso considerados.

Corredor de Conectividad: elementos lineales del paisaje cuyas características difieren de las circundantes y permiten el flujo de organismos entre parches de hábitat, al asemejarse a las condiciones naturales originales.

Corredor de conectividad ecológica: franja de territorio al interior de las cuales se mantiene el movimiento y la dispersión de las especies de flora y fauna silvestres, el intercambio genético y otros flujos ecológicos (materia y energía), que hacen parte de paisajes naturales en los que dicha conectividad ha sido afectada.

Efecto de barrera: concepto generado en la ecología de carreteras, que hace referencia al bloqueo del libre paso de fauna, que puede ser generado por la infraestructura lineal, y que se identifica como el causante del atropellamiento de fauna silvestre y de la fragmentación de poblaciones.

Fragmentación: proceso dinámico que implica la transformación del paisaje, particularmente la división de un área continua de una cobertura en dos o más porciones (parches) y por lo tanto la disminución del área total cubierta por la misma. En tal sentido, una reducción de un tipo particular de cobertura, implicará fragmentación si y sólo si incrementa el número de parches del tipo de cobertura considerada, con un área total menor a la original, los cuales quedarán separados unos de otros por una matriz transformada, generando patrones espaciales particulares.

Gálibo: altura existente entre el fondo de viga y el fondo del lecho en el caso del cruce sobre ríos o esteros. En pasos a desnivel sobre un camino, es la distancia entre la menor cota de fondo de vigas y la cota más alta del pavimento del camino sobre el cual se cruza (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Impacto acumulativo: impacto ambiental que resulta de efectos sucesivos, incrementales, y/o combinados de proyectos, obras o actividades cuando se suma a otros impactos existentes, planeados y/o futuros razonablemente anticipados.

Impacto ambiental: cualquier alteración del ambiente, que sea adversa o beneficiosa, total o parcial, que pueda ser atribuida al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

Impacto ambiental directo: cualquier alteración del ambiente, que sea adversa o beneficiosa, total o parcial, que pueda ser atribuida al desarrollo de un proyecto, obra o actividad, cuyo efecto se produzca como resultado directo de las actividades del mismo, durante las etapas de prefactibilidad, factibilidad, estudios, diseños, construcción, operación y desmantelamiento y abandono.

Impacto ambiental indirecto: cualquier alteración en el medio biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad, cuyo efecto se produzca como resultado de las actividades del mismo, durante las etapas de prefactibilidad, factibilidad, estudios, diseños, construcción, operación y desmantelamiento y abandono y cuya causa corresponda a efectos relacionados con aspectos ambientales que trasciendan la esfera de los impactos directos.

Impacto sinérgico: impacto que tiene origen en las interacciones complejas entre otros impactos, ya sean generados por un mismo proyecto o por varios. Un impacto sinérgico puede evidenciarse cuando el efecto combinado de dos impactos es mayor que su suma o cuando éstos ocasionan la aparición de un tercer impacto.

Índice de apertura: razón geométrica entre el área de la sección transversal de la estructura, sobre su longitud. Es un indicador de la amplitud relativa de una estructura de paso de fauna inferior, utilizado para estimar las especies de fauna que la podrían utilizar. Mientras mayor sea este índice, mayor será el número de especies que podrían hacer uso de la estructura como un elemento de permeabilidad.

Infraestructura verde vial: aquella infraestructura vial que a lo largo de todas sus etapas de desarrollo, desde la misma instancia de planeación estratégica sectorial, y durante su planeación, construcción, operación, intervención y desmantelamiento, integra consideraciones ambientales, sociales, tecnológicas y de ingeniería con el propósito de evitar, mitigar y corregir los potenciales impactos ambientales negativos que genera este tipo de proyectos, sean estos directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos, generando un balance ambiental neto positivo.

Jerarquía de la mitigación: secuencia de medidas diseñadas para manejar los impactos negativos de un proyecto, obra o actividad, que consiste en prevenir apropiadamente los impactos ambientales, minimizar y corregir aquellos que no puedan evitarse y en última instancia realizar las medidas de compensación necesarias. Esta jerarquía se debe aplicar para la toma de decisiones desde la planificación y el diseño del proyecto, obra y actividad (Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, 2018).

Mamíferos grandes: para efectos de la fauna tropical americana, entre los mamíferos grandes se agrupan venados, dantas, zainos, chigüiros, pumas, osos palmeros, etc, que en su etapa adulta pueden llegar a pesar más de 30 Kg. La altura máxima para este grupo está dada por el venado de cola blanca para el que se ha determinado que utiliza pasos de fauna de mínimo 3,65m (Donaldson, 2005).

Mamíferos medianos: para el caso de la fauna tropical americana, ese grupo incluye guaguas, primates grandes (churuco, mono araña, mono aullador), tigrillos, perezosos, osos hormigueros, entre otros, que en su etapa adulta tienen pesos de entre 8 y 30 kg, y que para el caso de las especies no arborícolas, alcanzan alturas (alzada) inferiores a 1m.

Mamíferos pequeños: en nuestro medio hace referencia a especies que en su etapa adulta alcanzan pesos inferiores a 8 kg. Este grupo incluye ratones, ardillas, y marsupiales, entre otros.

Medidas de compensación: acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, las localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por un proyecto, obra o actividad, que no puedan ser evitados, corregidos o mitigados (Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, 2018).

Medidas de corrección: acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del ambiente afectadas por un proyecto, obra o actividad (Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, 2018).

Medidas de mitigación: acciones dirigidas a minimizar los impactos y efectos negativos de un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente. (MGEPEA, 2018).

Medidas de prevención: acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que pueda generar un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente. (MGEPEA, 2018).

Obras de drenaje: obras proyectadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Paso de fauna inferior: estructura transversal a la vía, ubicada debajo de esta, que le confiere permeabilidad permitiendo el tránsito de fauna.

Paso de fauna multiespecie: estructura de paso de fauna que puede ser utilizada por más de una especie, o por más de un grupo de especies.

Paso de fauna superior: estructura transversal a la vía, ubicada por encima de esta, que le confiere permeabilidad permitiendo el tránsito de fauna.

Plan de adaptación de la guía ambiental (PAGA): instrumento de manejo y control ambiental para los proyectos que no requieren de licencia ambiental para la ejecución de obras de mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación.

Permeabilidad: en el contexto del presente documento, hace referencia a la facilidad con la que una vía permite el paso libre y seguro de individuos de una especie o un grupo de especies de fauna silvestre, de un costado al otro de la misma.

Pontón: estructura de drenaje cuya luz medida paralela al eje de la carretera es menor o igual a diez metros (10 m) (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Puente: estructura de drenaje cuya luz mayor, medida paralela al eje de la carretera, es mayor de diez metros (10 m) (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Puente de dosel: estructura de paso de fauna superior, dedicada a facilitar el cruce de la vía por parte de fauna arborícola.

Rocería: Actividad de mantenimiento rutinario encaminada a mantener baja la vegetación de las zonas laterales de la vía (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Tránsito promedio diario (TPD): número promedio de vehículos que circulan por un determinado sector de una vía, contados diariamente.

Separador: Zonas verdes o zonas duras colocadas paralelamente al eje de la carretera, para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido de tránsito (calzadas laterales) (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).

Sistema de pasos de fauna: grupo de estructuras de pasos de fauna que son complementarios entre sí para cumplir con el objetivo de dar permeabilidad a un tramo de vía para el paso de diferentes especies de fauna silvestre, con diferentes requerimientos de movilidad.

Sukumbun: herramienta del Instituto Nacional de Vías (Invias) que permite identificar y dar seguimiento a las especies de fauna silvestre que se encuentran en las vías que administra.

Tránsito promedio diario (TPD): número promedio de vehículos que circulan por un determinado sector de una vía, contados diariamente.

Viaducto: puente de longitud mayor que cuenta con apoyos intermedios para salvar una depresión del terreno, la presencia de zonas húmedas, drenajes, un área de inestabilidad geológica, un corredor de conectividad ecológica o un área ambientalmente sensible que se superponen con el alineamiento o trazado de una vía.

Visibilidad: condición que debe ofrecer el proyecto de una carretera al conductor de un vehículo de poder ver hacia delante la distancia suficiente para realizar una circulación segura y eficiente (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008).



Zonificación ambiental: proceso de establecer sectores homogéneos de acuerdo con la clasificación de la sensibilidad ambiental de los componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, los usos del suelo u otros criterios. (MGEPEA, 2018).

3 Marco de Referencia

Se presenta, de forma concisa, una base conceptual sobre los impactos ambientales de la infraestructura vial, sobre las poblaciones de fauna silvestre, así como las medidas de manejo que es necesario considerar e implementar de acuerdo con el principio de la jerarquía de la mitigación.

3.1 Impactos ambientales de la infraestructura vial

La planeación, construcción, operación e intervención de carreteras genera impactos ambientales directos, indirectos, sinérgicos y acumulativos significativos de gran magnitud, cuyos efectos se prolongan de manera indefinida en el tiempo y cuyas afectaciones se reflejan en los paisajes, los ecosistemas y la biodiversidad.

Si bien en Colombia el manejo ambiental de los impactos ambientales que genera la construcción de carreteras está amparado bajo la figura de licenciamiento ambiental, las carreteras generan impactos ambientales significativos desde instancias tempranas de la planificación y especialmente en su operación.

Un ejemplo de impactos generados en etapas tempranas de planeación es la generación de expectativas por los proyectos de construcción de carreteras, que en ocasiones genera dinámicas de acaparamiento y especulación de precios de la tierra, como se documentó en el caso de la carretera ilegal localizada entre La Macarena y San José del Guaviare (Pardo Ibarra, 2019), y debido a la cual se deforestaron grandes extensiones de bosques en proporciones que generaron afectación significativa a escala de paisaje y ecosistémica y en la conectividad ecológica entre los ecosistemas andinos y los ecosistemas de la Amazonia.

En las etapas más tempranas de la planificación se toman las decisiones que determinan en gran parte los impactos ambientales que puede generar el proyecto. Desde la planeación estratégica sectorial se definen los modos de transporte (por ejemplo, carretero, férreo, fluvial o cable aéreo) con que se dará solución a la necesidad de conectividad para carga y pasajeros, y se hace una selección general del trazado del corredor por el que discurrirá dicha solución de conectividad.

3.2 Impactos indirectos, sinérgicos y acumulativos de la infraestructura vial.

Un impacto ambiental indirecto, se define como aquella alteración ambiental que se atribuye al desarrollo de un proyecto vial y que se manifiesta más allá de la esfera de los impactos directos ocasionados por el proyecto; por otra parte, un impacto sinérgico se origina en las interacciones complejas entre otros impactos, ya sean generados por un mismo proyecto o por varios.

Un impacto ambiental acumulativo resulta de efectos sucesivos, incrementales y/o combinados de proyectos, obras o actividades de construcción o intervención vial cuando se suma a otros impactos existentes o planeados con efectos en el tiempo.

A manera de ejemplo de la generación de impactos indirectos, sinérgicos y acumulativos, se ha comprobado que la construcción ilegal de vías en la región amazónica favorece tanto la extracción no autorizada de recursos naturales, como la pérdida de coberturas naturales debido a la deforestación y cambio en el uso permitido del suelo por actividades de colonización. El efecto de estas actividades se extiende a varios kilómetros del área en la que se construyó la infraestructura generando interacciones con otras actividades que incrementan la magnitud de las alteraciones que genera, a la vez que su incidencia en la transformación de los paisajes y los ecosistemas genera cambios definitivos en las coberturas que se reflejan a lo largo del tiempo.

3.3 Impactos de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre.

La infraestructura vial genera multiplicidad de impactos negativos sobre la fauna silvestre, que van desde la alteración de las coberturas vegetales, los ecosistemas y el contexto paisajístico del área de influencia del corredor vial que constituyen su medio de vida (hábitat), hasta afectaciones por impactos directos que causan la pérdida (muerte) de individuos, la disminución o incluso la pérdida de poblaciones debido a que la accesibilidad a las áreas naturales facilita su ocupación, transformación y la extensión de la frontera agropecuaria.

Características de la infraestructura vial, como el ancho de la calzada, la superficie de rodadura, el tránsito promedio diario y la velocidad, pueden generar limitaciones en los desplazamientos de la fauna silvestre de un lado al otro de la carretera, especialmente cuando interactúan con las condiciones específicas de movilidad de las diferentes especies (formas de locomoción, desplazamientos estacionales, capacidad de dispersión, entre otros). Este fenómeno se conoce como efecto barrera.

Si bien los impactos de la infraestructura vial sobre la fauna silvestre son múltiples, en este documento se hace mención a algunos de los más significativos y se hace énfasis sobre dos de ellos, en razón de que pueden ser mitigados mediante los sistemas de pasos de fauna de que trata este documento.

3.3.1 Contaminación acústica

Se trata del ruido generado por la construcción y por la operación de las vías, el cual incide en el comportamiento y eventualmente en la dinámica reproductiva de

diversas especies, principalmente sobre aves y ranas, por ser organismos con interacciones sociales basadas en vocalizaciones, y podría tener efectos negativos sobre murciélagos insectívoros por interferir con sus actividades de localización de presas. Adicionalmente, el ruido puede ser sinérgico con el efecto de barrera, haciendo que algunas especies eviten acercarse a la infraestructura vial, incrementando el efecto barrera a áreas cada vez más alejadas del derecho de vía.

Se ha documentado especialmente el efecto del ruido urbano sobre el canto de las aves, las cuales pueden evitar las áreas con mayor presión sonora, y/o pueden alterar sus patrones de canto ya sea evitando los momentos de mayor ruido artificial, o modificando la frecuencia (el tono) y/o el volumen de su canto (King & Murphy, 2016), (Mendes, Colino-Rabanal, & Peris, 2011). En ranas también se ha registrado un aumento del volumen del canto en poblaciones que se encuentran en áreas cercanas a fuentes de ruido relativamente permanente (Parris, Velik-Lord, & North, 2009).

3.3.2 Contaminación lumínica

Es la introducción de iluminación artificial en ambientes que de otra manera mantendrían la penumbra nocturna, alterando el comportamiento de la fauna silvestre ya sea atrayéndola hacia la fuente de luz como en el caso de muchos insectos y por consiguiente de fauna insectívora, o alejándola de la fuente de luz, o alterando sus ritmos circadianos. El uso de iluminación en las vías puede aumentar el efecto de barrera sobre algunas especies de hábitos nocturnos y/o crepusculares, y las luces de los vehículos pueden iluminar áreas de ecosistemas naturales, generando efectos negativos sobre la fauna que allí habita, por ejemplo, sobre aves (Sun, Raap, Pinxten, & Eens, 2017) y murciélagos (Rowse, Lewanzik, Stone, Harris, & Jones, 2016), reduciendo por tanto la calidad de hábitat en esa zona de amortiguación de la contaminación lumínica.

3.3.3 Dispersión de especies

Los corredores viales son utilizados por algunos grupos de fauna como rutas de desplazamiento, como es el caso del oso palmero u hormiguero gigante (*Myrmecophaga tridactyla*), que utiliza las fajas de retiro de las vías en El Cerrado brasileño, mientras éstas tengan tránsito de menos de 2.600 vehículos por día (Gaudin, Hicks, & Di Blanco, 2018); otras especies como pequeños mamíferos, anfibios, pequeños reptiles (Rautsaw, y otros, 2018), e invertebrados (Kaur, y otros, 2019) utilizan las fajas de seguridad como áreas de refugio y/o de uso permanente.

Algunas especies invasoras, tanto vegetales como animales utilizan también los corredores viales como rutas de desplazamiento, accediendo así a nuevas áreas. Por ejemplo, en Sudáfrica, Botswana y Zimbabwe se documentó la dispersión de

un ave invasora (*Corvus alba*) a lo largo de las vías, atraída por la disponibilidad de alimento en la faja de seguridad y por la disponibilidad de sitios de anidamiento en los postes de telégrafo. (Grant, Seymour, & Foord, 2017), y en Australia se encontró que el sapo de la caña (*Bufo marinus*), una especie invasora, se desplaza utilizando los corredores viales (Brown, Phillips, Webb, & Shine, 2006). Para el caso del retamo espinoso, en un estudio en la localidad de Usme, en Bogotá, se encontró que el 78% de la invasión de esta especie se encuentra en un área de influencia de 100m a los lados de los caminos y vías (León M. & Vargas Ríos, 2011)

3.3.4 Impacto de aislamiento de poblaciones.

Es la pérdida de comunicación (conectividad) entre individuos de una misma especie debido al surgimiento de barreras físicas naturales o artificiales o a la fragmentación que impiden la accesibilidad de algunos individuos a áreas que antes eran ocupadas por poblaciones continuas. Este aislamiento puede limitar parcial o completamente el desplazamiento de la fauna silvestre entre diferentes áreas de su hábitat natural, ocasionando efectos diversos de los cuales se resaltan:

- Limitación al acceso a recursos permanentes o estacionales, al punto que si los recursos ambientales son insuficientes en una o más de las áreas fragmentadas, las poblaciones se reducirán en tamaño y eventualmente podrían desaparecer.
- Disminución o eliminación del flujo genético entre las poblaciones a cada lado de la infraestructura, lo que puede reducir la variabilidad genética, por limitación en el número de individuos que interactúan, y esto puede limitar la capacidad de la población para responder a cambios ambientales o a la aparición de enfermedades. Las metapoblaciones creadas por la fragmentación tienen una mayor probabilidad de extinción que las poblaciones grandes (Arroyave, y otros, 2006).

En estas dos situaciones, las consecuencias sobre las poblaciones dependerán tanto del tamaño de los fragmentos remanentes como de la resiliencia de las poblaciones ante el efecto de estos impactos. *“La reducción neta de área disponible para la fauna y flora debido a la fragmentación del hábitat y por tanto, del tamaño de las poblaciones remanentes en los fragmentos, puede conllevar a la extinción local de especies y con éstas, a la alteración de procesos ecológicos, además de afectar la conectividad estructural y funcional de los ecosistemas, entre muchas otras consecuencias. A nivel mundial, estos procesos son considerados como la principal causa directa de pérdida de conectividad.”* (Chaves, Santamaría, & Sánchez, 2007)

3.3.5 Pérdida de individuos por atropellamiento.

El atropellamiento de fauna es un incidente que se presenta cuando un vehículo arrolla a un animal, causándole traumatismos o como ocurre en la mayoría de los casos, la muerte. El atropellamiento de fauna silvestre es el impacto directo más visible y reconocido por el público durante la operación carretera, en especial porque constantemente se observan en la vía los cadáveres de los animales atropellados. Las cifras de estos incidentes son alarmantes y se estima que es un factor que puede llevar a algunas poblaciones a extinciones locales. Para España se estima que anualmente mueren 10 millones de individuos de fauna silvestre (Arroyave, y otros, 2006), para los Estados Unidos se calcula que diariamente se atropella un millón de animales (Forman & Alexander, 1998), y para Brasil el sistema Urubu estima que la cifra asciende a 475 millones de animales al año (Sistema Urubu, 2020).

El atropellamiento de individuos de la fauna silvestre se genera por dos causas: i) porque el trazado de la vía se interpone en la ruta de movilización de éstos y en algún momento se presenta simultaneidad entre el cruce por parte del ejemplar y el tránsito del vehículo, o, ii) porque el ejemplar es atraído a la vía por diversas razones y estando allí es arrollado por el vehículo. La evidencia de los atropellamientos generados muestra que es un fenómeno que afecta tanto a especies que se mueven lentamente (p. e. tortugas y cangrejos), como aquellas más veloces (p. e. chita asiático (*Acinonyx jubatus venaticus*) que siendo el animal terrestre más veloz del mundo ha sido documentado como afectado por atropellamiento en Irán (Parchizadeh, y otros, 2018), (Farhadinia, y otros, 2015).

Un estudio de colisiones entre vehículos y fauna silvestre en carreteras de Estados Unidos (Federal Highway Administration, 2008) estimó que anualmente se reportan entre 1 y 2 millones de colisiones entre vehículos y fauna silvestre, y aunque en el 95% de los casos no se presentan lesiones en los ocupantes de los vehículos, estos accidentes generan aproximadamente 26.000 personas lesionadas y 200 fallecidas por año. Para el estado de California, los costos de daños a propiedad y atención de lesiones y fatalidades entre febrero de 2015 y febrero de 2016 se estimaron casi 225 millones de dólares, un costo equivalente al 2% presupuesto anual de transporte (Shilling & Waetjen, 2016). Es de aclarar que los accidentes que generan mayores daños y lesiones son los que involucran fauna de mayor tamaño, como venados y alces

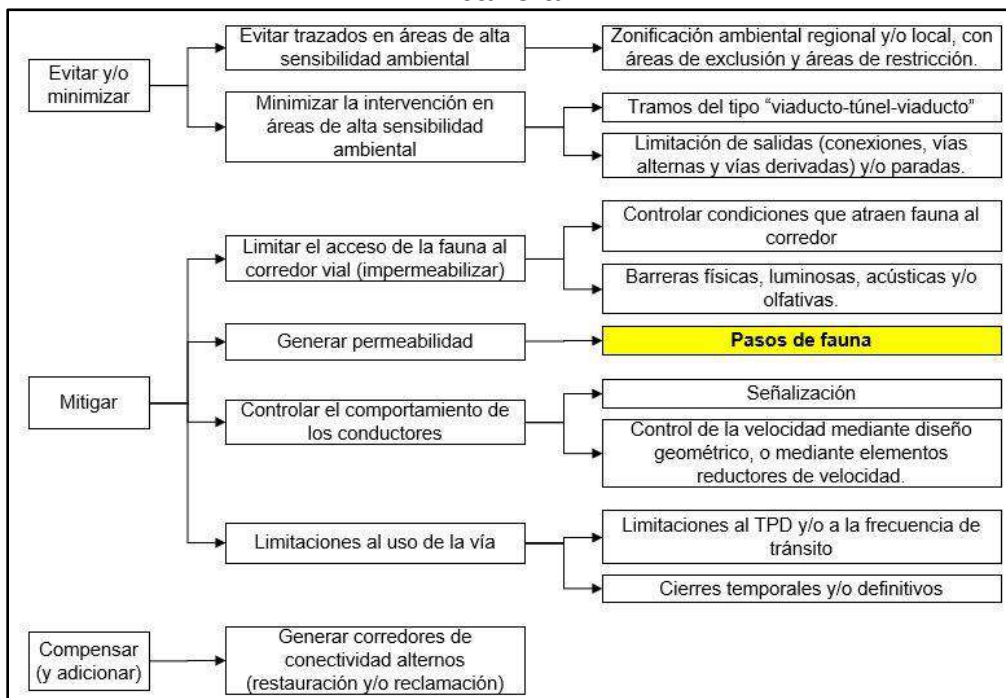
4 Lineamientos generales para evitar, mitigar, corregir y compensar impactos a la fauna silvestre.

En general, se insta a implementar los Lineamientos de Infraestructura Verde Vial (en adelante: LIVV) generados por Minambiente con el apoyo de WWF Colombia, la FCDS y la participación del Ministerio de Transporte, y sus entidades adscritas y el Departamento Nacional de Planeación. Estos lineamientos contemplan la aplicación de la jerarquía de la mitigación desde las etapas más tempranas de los proyectos, hasta las de construcción, operación, intervención (mantenimiento, rehabilitación, mejoramiento) y desmantelamiento.

Las opciones que se presentan a continuación corresponden a un listado amplio, pero no exhaustivo, de alternativas para el manejo de los impactos de la infraestructura vial sobre la integridad y la conectividad ecológicas. Estas opciones se presentan organizadas bajo el esquema de la jerarquía de la mitigación, priorizando las que buscan evitar los impactos, para después continuar con las que mitigan los impactos generados (o por generar), y finalmente, las que los compensan. No son opciones excluyentes, por el contrario, se recomienda evaluar la implementación de varias de ellas de modo que se generen sinergias y logre una mejor integración entre la infraestructura de transporte y la protección de la biodiversidad.

Tal y como se establece en el informe de “Safe roads for wildlife and people” (van der Grift, Seiler, Rosell, & Semeonova, 2017), no es práctico desarrollar un conjunto estático de reglas técnicas para mitigación del impacto de las carreteras, que deba ser aplicado en todos los casos. Si bien el análisis de este documento está enfocado al caso de la Amazonia colombiana, la información aquí establecida debe tomarse como lineamientos a aplicar en el marco de las particularidades de cada región, y a las de cada caso de infraestructura vial, ya sea existente, o en proceso de planeación.

Figura 1: Principales medidas para evitar, mitigar, corregir o compensar los impactos de atropellamiento de fauna y aislamiento de poblaciones por efecto de barrera.



Fuente: Elaboración propia.

4.1 Medidas para evitar o minimizar el atropellamiento de fauna silvestre y el aislamiento de poblaciones.

La infraestructura en general, y en este caso, la infraestructura de transporte, debe evitar superponerse con áreas de alta sensibilidad ambiental, para lo cual dichas áreas deberían ser identificadas en las etapas más tempranas de los proyectos (planeación y diseño) para tomarlas como áreas de exclusión, o en su defecto, como áreas de altas restricciones. En condiciones ideales, las áreas de alta sensibilidad ambiental deben estar definidas previamente, como parte de los productos de un ejercicio de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) de nivel regional, a partir del cual se armonicen los objetivos de desarrollos con las determinantes ambientales del ordenamiento territorial. Como ejemplo de este tipo de evaluaciones, en 2019 Minambiente realizó la Evaluación Ambiental Estratégica Regional del Arco Noroccidental Amazónico (EAER – ANA), con el propósito de contar con las recomendaciones necesarias para incorporar criterios y elementos de carácter ambiental y de sostenibilidad en las decisiones y actuaciones sectoriales y territoriales del sector noroccidental de la Amazonia.

Cuando como resultado del balance de las necesidades de infraestructura de transporte, no sea posible evitar la afectación de áreas de especial interés ambiental

que carezcan de restricciones legales para su intervención, incluyendo corredores ecológicos, se deben diseñar e implementar soluciones a nivel de modos y medios ambientalmente sostenibles diferentes al carretero, que eviten fragmentar ecosistemas y/o afectar conectividades, o que minimicen estos impactos, por ejemplo mediante el uso de puentes, viaductos y túneles que garanticen la permanencia de los ecosistemas y de los elementos de conectividad.

4.1.1 Evitar trazados al interior, o muy cerca de áreas de alta sensibilidad ambiental.

Las Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA) agrupan diferentes figuras del ordenamiento ambiental, entre ellas las del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), que en su conjunto están dirigidas a proteger ecosistemas estratégicos y de alta sensibilidad, y en general, a conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que presta. Por su parte, los corredores de conectividad ecológica son aquellos en los que persiste el movimiento y la dispersión de las especies de flora y fauna silvestres, el intercambio genético y otros flujos ecológicos, que en su conjunto permiten la viabilidad de largo plazo de las poblaciones silvestres.

Teniendo en cuenta que la construcción de vías en áreas predominantemente naturales genera fragmentación ecosistémica y efecto barrera para las especies locales, lo que deriva en interrupción de corredores migratorios, aislamiento poblacional y reducción de la diversidad genética con el consecuente riesgo de extinción local, y considerando además la relación documentada entre la apertura de vías y fenómenos como la extracción no autorizada de recursos naturales y la proliferación posterior de vías adicionales (Selva, Switalski, Kreft, & Ibisch, 2015), es fundamental realizar un proceso de planeación que permita definir categorías específicas de áreas, según su sensibilidad ambiental:

- Áreas libres de desarrollos de infraestructura de transporte. En la Amazonía colombiana, estas áreas deben incluir las áreas protegidas que hacen parte del SINAP, parte de sus áreas de amortiguación (declaradas, o no), otras áreas prioritarias para la conservación como las definidas en portafolios de conservación, y áreas con posible presencia de comunidades indígenas no contactadas.
- Áreas con desarrollos de infraestructura de transporte con restricciones a las características de la vía, y/o las condiciones de movilidad.
- Áreas en las que se puede autorizar el desarrollo de infraestructura vial, bajo los condicionamientos ambientales generales de todo proyecto. En esta categoría se deben incluir las áreas destinadas a concentrar los corredores de infraestructura.

La proliferación de infraestructura de transporte está haciendo que las áreas alejadas de las vías (roadless areas) se estén volviendo un elemento escaso en todo el planeta (<http://www.roadless.online/data/>), de los 600.000 polígonos identificados como libres de vías en el planeta, sólo el 7% tienen más de 100 km² (Ibisch, y otros, 2016). Las áreas sin vías, en las que se deben implementar estrategias de manejo y de monitoreo para asegurar su permanencia, son áreas de regulación de servicios ecosistémicos como la regulación del clima (el caso de la Amazonia) y la conservación de biodiversidad. Adicionalmente sirven como barrera para la expansión de la frontera agrícola, la dispersión de especies invasoras, y la propagación de enfermedades.

Para orientar la identificación de Áreas de Especial Interés Ambiental (AEIA), se proporciona el siguiente listado como referencia. Este listado no es exhaustivo ni taxativo, y podrá ser susceptible de actualizaciones posteriores. Por lo tanto, se recomienda consultar periódicamente las fuentes oficiales correspondientes para verificar su vigencia y eventuales modificaciones.

Categoría	Tipo de área
<i>SINAP – Áreas del SPNN</i>	Parques Nacionales Naturales
	Reservas Naturales
	Áreas Naturales Únicas
	Santuarios de Flora
	Santuarios de Fauna
	Santuarios de Fauna y Flora
	Vías Parque
<i>SINAP – Otras Áreas</i>	Parques Regionales Naturales
	Reservas Forestales Protectoras Nacionales
	Reservas Forestales Protectoras Regionales
	Distritos Nacionales de Manejo Integrado
	Distritos Regionales de Manejo Integrado
	Distritos de Conservación de Suelos
	Áreas de Recreación
	Reservas Naturales de la Sociedad Civil
<i>Ecosistemas Estratégicos</i>	Páramos
	Humedales
	Humedales RAMSAR
	Manglares
	Arrecifes coralinos
	Pastos Marinos
	Bosque Seco Tropical
	Distrito de Manejo Integrado del AME La Macarena

Categoría	Tipo de área
<i>Estrategias Complementarias de Conservación y Desarrollo Sostenible</i>	Zonas amortiguadoras de áreas del SPNN
	Zonas de Protección y Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente (Declaratoria Provisional)
	Zonas A de las Reservas Forestales de Ley 2 de 1959
	Zonas B y C de las Reservas Forestales de Ley 2 de 1959
	Zonas de las Reservas Forestales Ley 2da con decisión de ordenamiento previo ¹
	Reserva Forestal Protectora-Productora de la Cuenca Alta del Río Bogotá
	Reservas de biósfera
	Áreas importantes para la conservación de aves (AICA)
	Bosques de Paz
	Bancos de Hábitat
	Área Marina Protegida de los Archipiélagos del Rosario y de San Bernardo
	Áreas susceptibles a procesos de restauración ecológica
<i>Áreas de interés sociocultural</i>	Resguardos Indígenas
	Tierras de Comunidades Negras
<i>Instrumentos de Ordenamiento Territorial</i>	Otras áreas designadas como de Conservación y Preservación Ambiental en los POMCA y POMIUC
	Otras áreas designadas como Suelo de Protección en los POT
<i>Corredores de conectividad ecológica</i>	Corredores de conectividad ecológica regional, subregional y local

Fuente: Elaboración Minambiente 2025.

4.1.2 Minimizar la intervención en áreas de alta sensibilidad ambiental.

Cuando por una u otra razón el trazado de una infraestructura de transporte pueda generar impactos directos o indirectos sobre un área de alta sensibilidad ambiental, se deben extremar las medidas para minimizar los impactos negativos. Estas medidas pueden ser de dos tipos:

¹ Respecto de las Reservas Forestales Ley 2da de 1959 se decidió incluir un tipo de área adicional que corresponda a aquellas zonas de las reservas que, aunque no fueron zonificadas por contar con una decisión de ordenamiento previa, se siguen considerando Reserva Forestal.

- a) Limitar la intervención a puntos aislados entre sí: En lugar de alterar los ecosistemas en toda la extensión de la infraestructura lineal, lo que se puede lograr elevando la vía mediante viaductos con intervención únicamente en los puntos de apoyo, enterrando la vía mediante túneles con intervención directa únicamente en los portales y en estructuras adicionales de ventilación cuando sea necesario.
- b) Reducir los posibles puntos de acceso/salida: El objetivo es para limitar las opciones para la extracción ilícita de recursos naturales, ya sea mediante la implementación de medios de transporte con estaciones definidas y controladas como en el caso del transporte por vía férrea, o en el caso de carreteras mediante la construcción de viaductos y/o túneles, o limitando el número de puertos para el transporte fluvial. También se debe limitar el crecimiento de la infraestructura de transporte, de modo tal que se tenga el mínimo número posible de accesos/salidas del área que se busca proteger, de modo que se facilite la implementación de puestos de control (horarios, pasajeros, mercancías).

Figura 2: Túnel, como opción de mitigación del impacto sobre conectividad funcional para fauna silvestre.	Figura 3: Tramo viaducto – túnel, como opción de mínimo impacto sobre conectividad funcional para fauna silvestre.
	
Darío Correa Quiñones.	Darío Correa Quiñones.

Estas opciones han sido empleadas con éxito en grandes proyectos como las autopistas Hubei-Yiba y Anhui en China (financiadas por el Banco Mundial), logrando reducciones en tiempo de construcción y simplificaciones en el trazado que conllevan a reducciones significativas en los tiempos de recorrido, con lo que se equilibra el aumento en el costo de construcción (World Bank, 2007). En Europa se destaca la autopista C37 en el norte de Cataluña (España), con solo 19 kilómetros de longitud es considerada como la autopista más permeable de Europa, al contar con 5 túneles (6,85 km), 6 viaductos (1,23 km) y 5 túneles falsos (0,94 km),

para una longitud total de más de 9 km de estructuras permeables para la fauna. Este diseño permite además que la vía tenga una pendiente promedio de solo 1,5% a pesar de discurrir en terreno montañoso, mejorando así las prestaciones de movilidad y reduciendo los costos de desplazamiento.

En América latina también se cuenta con ejemplos, como la “Rodovia dos imigrantes”, (SP-160) que une a Sao Paulo (Brasil) con las ciudades de San Vicente y Playa Grande, en un trazado de 58,5 kilómetros en el que se minimizaron las áreas de intervención y el impacto sobre los ecosistemas, mediante la construcción de 44 viaductos, 7 puentes y 14 túneles, al tiempo que se simplificó el trazado y se redujeron los tiempos y costos de recorrido y las emisiones de los vehículos.

4.2 Medidas para mitigar el atropellamiento de fauna silvestre y el aislamiento de poblaciones, desde el diseño de la infraestructura de transporte

A continuación se presentan tres grupos de medidas para mitigar el atropellamiento de fauna y el aislamiento de poblaciones, desde el diseño de la infraestructura de transporte, el primero se enfoca en mantener a la fauna por fuera del corredor vial para reducir el riesgo de colisiones vehículo – animal, el segundo grupo busca generar opciones para que la fauna atravesase la vía sin pasar por la superficie de rodadura, y el tercer grupo de medidas incide en las condiciones de uso de la vía, proporcionando información a los conductores para aumentar su estado de alerta, reduciendo la velocidad de tránsito, y condicionando el uso de la vía para mantener la seguridad de los vehículos (y sus ocupantes) y de la fauna silvestre en el área.

4.2.1 Diseño geométrico de la vía:

Dado que las mayores velocidades se alcanzan en tramos rectos, una alternativa desde el diseño es acortar las rectas introduciendo curvas horizontales y/o verticales. Si bien esta alternativa entra en conflicto con los parámetros de velocidad de diseño de las carreteras primarias y secundarias (Instituto Nacional de Vías - Invia, 2008), se recomienda evaluarla para los casos en que dichas vías discurren por áreas de alta sensibilidad ambiental.

También debe contemplarse, para el caso de las vías de segundo y tercer orden, la posibilidad de realizar cambios en la superficie de rodadura, que lleven a los conductores a reducir inmediatamente la velocidad (Goosem, y otros, 2010). Estos cambios se pueden lograr, entre otras opciones, mediante el uso de superficies ligeramente rizadas o áreas sin pavimento, estrechamientos de la calzada, o con la inclusión de elementos generadores de vibraciones como por ejemplo, resaltos, bandas sonoras, y/o estoperoles (Socha Baez & Tapias Montañez, 2010).

4.2.2 Limitar el acceso de fauna al corredor de transporte

El objetivo es mantener el corredor libre de fauna, para lo cual se pueden plantear opciones que van desde el aislamiento total entre el corredor y su entorno, hasta estrategias que permiten el libre paso de la fauna de un lado a otro del corredor. Para la comparación de las opciones que se presentan a continuación, se emplea el concepto de “permeabilidad” de la vía.

4.2.2.1 Control de las condiciones que atraen a algunas especies hacia las vías

Si bien algunas especies de fauna silvestre evitan acercarse a la infraestructura de transporte, otras especies se ven atraídas a ella por múltiples razones, por ejemplo, pueden utilizar las fajas de retiro como corredores de desplazamiento; en bordes y separadores pueden encontrar especies vegetales productoras de frutos, semillas, o brotes que atraen herbívoros, fuentes de néctar que atraen insectos que a su vez atraen animales insectívoros; en la superficie de rodadura y en sus bordes pueden encontrar fauna atropellada que atrae a animales carroñeros y oportunistas; o pueden verse atraídos por la temperatura de la carpeta asfáltica que atrapa la radiación solar, atrayendo fauna ectoterma.

Por lo anterior, en la planeación paisajística y en las acciones de mantenimiento del derecho de vía y de los separadores se debe evitar la presencia de especies llamativas por su producción de frutos, o que se destaquen como proveedoras de néctar, y se debe hacer control temprano de la presencia de plántulas de especies diferentes a las previstas para cada área. Adicionalmente, el mantenimiento rutinario de la vía debe incluir protocolos y mecanismo para retirar y disponer los cadáveres de fauna atropellada, minimizando el tiempo de permanencia de los cadáveres ya sea en la superficie de rodamiento, en la berma, o en la zona verde, de modo tal que se reduzca el riesgo de atropellamiento de especies carroñeras (estrictas y oportunistas).

4.2.2.2 Barreras y/o estímulos para evitar el ingreso de fauna a las vías

El objetivo es mantener a la fauna silvestre por fuera del corredor vial estableciendo barreras ya sean físicas o de otra naturaleza. Si bien el objetivo inicialmente fue construir barreras a todo lo largo de las carreteras (vías totalmente impermeables a la fauna) (Kroll, 2015), actualmente se busca implementarlas sólo en las áreas de alto riesgo de colisiones vehículo – fauna, y hacen parte integral de los pasos de fauna como se verá más adelante en este documento.

4.2.2.2.1 Barreras físicas:

Pueden ser mallas o cercas densas que se instalan generalmente a lo largo de los tramos de mayor accidentalidad, y que buscan restringir el acceso de la fauna silvestre a la vía. Las barreras físicas reducen las colisiones entre fauna silvestre y vehículos, y son particularmente efectivas cuando se combinan con pasos de fauna bien diseñados y localizados.

El diseño de las barreras debe responder a las características de la fauna a la que se le pretende restringir el acceso, y su implementación debe ser objeto de monitoreo. Se deben tener en cuenta, entre otras variables, las siguientes:

- Si se opta por una malla o una cerca, se debe tener en cuenta el espacio entre los elementos que la conforman. Espacios muy grandes permitirán el paso de fauna mediana y pequeña, mientras que espacios muy pequeños, además de aumentar los costos, pueden atrapar fauna pequeña.
- Las barreras deben tener la altura necesaria para bloquear el paso de la fauna que se pretende manejar. Por ejemplo, en carreteras en el sudeste asiático, fue necesario elevar la altura de las mallas, en respuesta a la capacidad de salto de los tigres de bengala (Quintero, Roca, Morgan, Mathur, & Shi, 2010).
- Las barreras deben resistir el embate de la fauna, lo que en términos prácticos para la Amazonia colombiana quiere decir, resistir el empuje de una danta o el de una piara de pecaríes, y deben bloquear los intentos de pasar por debajo mediante excavación.
- Se deben hacer visibles los bordes superiores de los principales elementos de la barrera, de modo que se reduzca el riesgo de colisiones de aves.
- Dado que no es viable instalar barreras a lo largo de la totalidad de los proyectos viales, se debe hacer un ejercicio cuidadoso de identificación de los puntos donde se presupuesta la interrupción de elementos de conectividad funcional, y en el caso de las vías ya en operación, se deben implementar en los puntos de mayor accidentalidad.
- Los tramos con barreras deben incluir sistemas que permitan a la fauna que entre al corredor vial, escapar fácilmente. Para ello se sugiere el uso de rampas que permitan subir hasta el borde superior de la barrera, y saltar desde ahí hacia el lado exterior de la barrera.
- Los tramos de vía en terraplén pueden actuar en sí mismos como barreras al dificultar el acceso de los animales al corredor vial, sin embargo, se debe

evaluar la pertinencia de agregar barreras a los taludes del terraplén de modo que se aumente su efectividad.

Al ser utilizadas en combinación con estructuras de pasos de fauna, las barreras han generado reducciones muy significativas en los conteos de fauna atropellada, por ejemplo, en la carretera 441 en Florida (Estados Unidos) la reducción fue del 93,5% e incrementó el número de especies que utilizaban el paso de fauna, pasando de 28 a 51 especies (Dood, Barichivich, & Smith, 2004), al utilizar una barrera en combinación con un sistema de alcantarillas tipo Box-culvert.

4.2.2.2.2 Señales luminosas:

Se trata principalmente de elementos que reflejan la luz de los carros enviando haces o pulsos de luz (algunos modelos agregan estímulos auditivos) hacia el borde externo de la vía. Si bien se vienen utilizando desde la década de 1980 en ecosistemas septentrionales, no hay estudios concluyentes sobre su efectividad para ahuyentar fauna silvestre (Benten, Hothorn, Vor, & Ammer, 2018), (D'Angelo & Van der Ree, 2015), (Luell, y otros, 2003), y no hay documentación sobre su efectividad sobre fauna tropical.

Otra opción es el uso de luminarias fijas, con activación por detección de movimientos, en las áreas con registros recurrentes de atropellamiento de fauna silvestre, lo cual aumentaría la visibilidad de los animales que entren al área iluminada, pero al mismo tiempo aumentaría el efecto de barrera para otras especies que parecen preferir desplazarse en la oscuridad, por ejemplo, se ha encontrado que algunas especies con presencia en la Amazonia colombiana, incluyendo un venado del género *Odocoileus* y la “chucha” o “fara” (*Didephis virginianus*) evitan los pasos con áreas iluminadas (Bliss-Ketchumn, de Rivera, Turner, & Weisbaum, 2016)

4.2.2.2.3 Barreras acústicas:

En este caso no se trata de barreras para reducir la presión sonora, si no por el contrario, de barreras creadas con generadores de sonido que pueden estar fijos en los bordes externos de la vía, o estar instalados en los vehículos. Estos sonidos suelen estar en el rango desde alta frecuencia hasta ultrasonido, pero al igual que con las señales luminosas, no hay claridad sobre su efectividad (D'Angelo & Van der Ree, 2015), (Luell, y otros, 2003).

4.2.2.2.4 Estímulos olfativos:

Utilizan aromas que mezclan olores de humanos y depredadores, y si bien algunas experiencias en Europa indican que generan un aumento en el estado de alerta de los venados, también generan que muchos individuos eviten las áreas con estímulos olfativos y busquen cruzar la carretera en otros puntos, con lo que se reduce significativamente la efectividad de la medida (Luell, y otros, 2003) y se potencia el efecto de barrera. Adicionalmente, las especies podrían adaptarse en poco tiempo al estímulo olfativo, por lo que su uso debería limitarse a los periodos con mayor frecuencia de registro de animales en la vía

4.2.3 Generar permeabilidad de la infraestructura de transporte

Se orientan a hacer permeable la vía al paso de los animales mientras que al mismo tiempo garantizan su seguridad y la de quienes transitan por la vía. Estas medidas pueden ser permanentes o temporales.

4.2.3.1 Sistemas de pasos de fauna.

Son sistemas de estructuras, adecuadas a las características y requerimientos específicos de movilidad de las diferentes especies para las cuales se decide recuperar parcialmente la conectividad de un lado al otro de la carretera. Como herramientas de mitigación, su efectividad para el restablecimiento de la conectividad no es del 100% ya que genera una permeabilidad limitada, y por lo tanto en la etapa de diseño de infraestructura de transporte se debe hacer lo posible por evitar fragmentar ecosistemas naturales.

La necesidad, la ubicación, las dimensiones y las características complementarias de los pasos de fauna deben ser objeto de un análisis cuidadoso. La implementación indiscriminada de pasos de fauna conduce a gastos innecesarios, mientras una implementación insuficiente genera pérdida de biodiversidad y por lo tanto, de la riqueza natural de la región y del país. En este punto es necesario hacer énfasis en que los grandes “ecoductos” como los del Parque Nacional Banff en Canadá no sólo obedecen a la necesidad de conservación de la fauna silvestre, sino también a un problema de salud pública derivado de la mortalidad, morbilidad y costos de aseguramiento generados por la accidentalidad con grandes mamíferos. Por ejemplo, un reporte de 2008 al congreso de los Estados Unidos, establece que anualmente mueren aproximadamente 200 personas y entre 1 y 2 millones de ciervos, en accidentes de tránsito con fauna silvestre, generando costos de 8.388 millones de dólares (Kroll, 2015). No se debe asumir que en Colombia se presenta una situación similar, ya que el registro de accidentalidad por colisiones con fauna silvestre es tan bajo que ni siquiera alcanza a ser un ítem independiente en las

cuentas de las aseguradoras, esto debido a que las colisiones se dan con especies relativamente pequeñas que no generan lesiones en los ocupantes de los vehículos y probablemente ni siquiera generan reclamaciones por daños en los vehículos.

En términos generales, los pasos de fauna se pueden clasificar en pasos por encima (superiores), y pasos por debajo (inferiores) de las vías, y los diseños tienen características generales que han sido probadas en diferentes partes del mundo, y que se han ajustado a partir de la experiencia. Sin embargo, dado que no se cuenta con suficientes datos de monitoreo de experiencias similares en la región amazónica, y que gran parte de las experiencias disponibles se orientan a fauna ajena a esta región, las reseñas que se presentan a continuación deben tomarse como orientaciones que deben ser ajustadas en función de las características específicas de la fauna para la que se identifica la necesidad de una solución de conectividad, y en función de las particularidades ambientales y orográficas de la zona en que se pretende implementar cada paso de fauna.

Más adelante en este documento, se presenta una revisión de las limitaciones que enfrenan algunos grupos de fauna por causa de la fragmentación generada por la infraestructura de transporte, información que permite llegar posteriormente a la presentación de criterios detallados para el diseño, ubicación y características de pasos de fauna eficientes.

4.3 Medidas para incidir en el comportamiento de los conductores

En los puntos donde se identifique riesgo de atropellamiento de fauna silvestre, se deben implementar medidas orientadas a incidir en los hábitos de conducción aumentando el estado de alerta de los conductores, y reduciendo la velocidad de tránsito vehicular. En las vías primarias, estas medidas deberían ser transitorias, mientras se genera una solución efectiva de movilidad para la fauna. En las vías terciarias y secundarias con menor tránsito promedio diario (TPD) y menor velocidad de tránsito, podrían ser permanentes.

4.3.1 Señalización

Se utiliza con el fin de alertar a los conductores sobre la posible presencia de fauna silvestre en la vía, y con el fin de prevenir colisiones vehículo - fauna silvestre, sin embargo se han identificado algunas debilidades por las cuales se requieren lineamientos de nivel nacional. Que deben ser establecidos por el Ministerio de Transporte:

- Proliferación de diversidad de señales preventivas con gran diversidad de figuras de animales, unas más claras que otras.

- Dado que no se tienen reglas claras, no hay consenso sobre su ubicación con respecto al área en que se identifica el riesgo de colisión.

En el punto 4.5 de este documento se presenta una propuesta de señalización para las áreas donde el riesgo de atropellamiento de fauna silvestre es especialmente alto y para alertar la existencia de cruce o pasos de fauna silvestre.

4.3.2 Control de la velocidad de tránsito vehicular

El uso de la señalización por sí misma suele tener una efectividad baja en cuanto a la reducción de la velocidad (Huijser, Mosler-Berger, Olsson, & Strein, 2015) por lo cual se recomienda que sea una medida complementaria de las soluciones de trazado, diseño o a la incorporación de adecuaciones tales como resaltos, bandas sonoras, tachas, delineadores, y otros elementos que complementan la estructura de la vía con este propósito. Los elementos que se empleen deben en todo caso cumplir con la normatividad nacional y local, deben contar con una adecuada señalización, y no deben generar reducciones en los niveles de seguridad vial para conductores, pasajeros, ciclistas y/o peatones.

Los elementos que inducen vibración al vehículo son muy efectivos en la reducción de la velocidad, como se demostró en un estudio de 2 años en un área protegida de Madagascar (Schutt, 2008), en el que se concluyó que los reductores de velocidad (resaltos) disminuyen sustancialmente el atropellamiento de fauna en todos los grupos de animales silvestres, sin embargo, esta medida por sí sola no tiene efecto sobre los animales de locomoción lenta como las serpientes (Mashio, Santos-Costa, & Prudente, 2016).

Como ya se estableció, tanto la señalización como los elementos reductores de velocidad deben ser utilizados de forma complementaria a la implementación de soluciones de fondo para que la fauna silvestre permanezca fuera del corredor vial y al mismo tiempo cuente con pasos seguros de uno a otro lado de la vía.

4.3.3 Control de la densidad y/o de los horarios de uso de las vías

En los casos en que la infraestructura de transporte cruza un área de alta sensibilidad ambiental sin que se divida en rutas alternas, se pueden establecer controles sobre los vehículos que discurren por un tramo determinado, con las siguientes opciones complementarias:

- Control de tiempos de tránsito, para evitar paradas no autorizadas.
- Cierre del tránsito en horarios predefinidos.

- Revisión de contenidos al ingreso y a la salida, para controlar la extracción no autorizada de productos naturales.

A manera de ejemplo, en Tikal (Guatemala), se registra la hora de entrada y salida de los vehículos que cruzan el área protegida, para controlar el número de vehículos en la vía por hora (densidad) y su velocidad (Monge-Nájera, 2018) y el número de vehículos en la vía. En el área de reserva nacional natural Wanglang en la provincia de Sichuan (China), se encontró que en la temporada de apareamiento de algunas especies de ranas, su mortalidad por atropellamiento es más alta durante la noche, por lo que se establecen restricciones al tráfico nocturno durante dichas temporadas (Zhang, y otros, 2018).

4.3.4 Cierres temporales

Es una alternativa para la mitigación del efecto de barrera que generan las vías; es utilizada cuando se busca hacer permeable la vía para el tránsito de especies durante migraciones periódicas y relativamente predecibles, y que resulta viable únicamente cuando se trata de vías de poco tráfico, o cuyo tráfico puede canalizarse por vías alternas durante el periodo de cierre. Estos cierres provisionales pueden extenderse desde varias horas hasta varios meses, y deben garantizar que se restringe el paso al personal no autorizado, para lo cual deben contar con estructuras de barreras físicas, y/o con personal de vigilancia las 24 horas durante la duración de los trabajos previstos. Esto, porque las vías en proceso de cierre resultan llamativas tanto para personas que buscan extraer recursos naturales no autorizados, como para personas que buscan aventuras como conductores de vehículos todoterreno (Keller & Sherar, 2004).

Es famoso el caso de la migración de cangrejos en Isla de Navidad al Norte de Australia, evento para el cual se cierran algunos puntos de la carretera perimetral de la isla, y se activan medidas complementarias. Sin embargo, el cierre de las vías no es total y en algunos tramos los vehículos transitan a velocidades muy reducidas para minimizar el atropellamiento. Algo similar ocurre en las islas de San Andrés y Providencia (Colombia), donde se cierran algunos tramos de la vía perimetral para permitir el paso de la migración de cangrejos entre el interior de la isla y las playas, y su posterior retorno al bosque.

En la India, la carretera Mysore-Mananthavadi que cruza la reserva de tigres Bandipur es cerrada entre las 6 de la tarde y las 6 de la mañana para reducir el impacto sobre la fauna silvestre, el tráfico de esta carretera se desvía por una vía alterna. En el Parque Nacional Banff en Canadá se experimentó durante casi 4 meses con cierres diarios de un tramo de 17 kilómetros, entre las 8 p.m. y las 8 a.m., encontrando que la frecuencia de registro de mamíferos se duplicaba durante los periodos de cierre (Whittington, Low, & Hunt, 2019)

4.3.5 Cierres definitivos

El abandono de tramos de vías ya sea porque fueron reemplazados por tramos nuevos con trazado diferente, porque perdieron utilidad, por presentar costos de mantenimiento superiores a su utilidad, o por consideraciones legales, debe hacerse de forma tal que se facilite la recuperación del ecosistema.

El cierre debe obedecer a un programa de acciones encaminado a lograr la recuperación del ecosistema, por lo cual deben establecerse inicialmente barreras provisionales que permitan únicamente acceso del personal y los vehículos necesarios para la reconfiguración del suelo, para la recuperación de la cobertura vegetal, y para el desmantelamiento de las estructuras que así lo requieran (Keller & Sherar, 2004), (Weaver, Weppner, & Hagans, 2014). Desde el punto de vista social, el cierre debe ser informado a la comunidad local y a los posibles usuarios de la vía objeto de cierre, de modo tal que se minimice la posibilidad que sea reabierto por intereses particulares.

Los cierres definitivos deben incluir barreras físicas que resulten infranqueables para las personas que puedan querer ingresar en vehículos. Estas barreras pueden consistir en zanjas y/o amontonamientos de materiales, eliminación de obras hidráulicas (dejando sin rellenar los espacios que ocupaban), reconfiguración de cortes y taludes depositando material sobre el camino, y/o instalación de obstáculos como tocones de troncos de al menos 1m de altura.

La reconfiguración debe incluir tanto el retiro de la sub-base, base y superficie artificial de rodadura, como la descompactación del suelo sobre el que discurría la vía, para permitir la germinación de semillas y la aparición de plántulas que en el mediano plazo reconfigurarían una cobertura vegetal secundaria, en el proceso para la recuperación de los servicios ambientales.

Como parte del abandono, y para facilitar la restauración de la cobertura vegetal, se debe retirar la subbase, la base, la superficie de rodadura y las estructuras hidráulicas, lo que dependiendo de las características de la vía, puede requerir la utilización de maquinaria especializada, desde escarificadoras y martillos neumáticos, hasta retroexcavadoras. Esta fase se caracteriza por la generación de material particulado y por la necesidad de transporte de los escombros y materiales sobrantes, y por lo tanto requiere de la implementación de medidas adecuadas de manejo ambiental. Es de resaltar que el material sobrante no debe, en ningún caso, ser abandonado en el sitio ya que aun cuando podría ser colonizado por vegetación silvestre, contiene elementos que son ajenos a los ecosistemas y que pueden contaminar tanto el suelo como las aguas (por escorrentía o por contacto directo en cauces).

Después de retirar las capas de soporte y de descompactar el suelo, se puede optar por mantener la plantilla de la vía en la superficie, o rellenar la misma reconfigurando las geoformas. En cualquiera de los casos, se debe tener atención en los sistemas de escorrentía para evitar puntos de erosión. En esta fase, se recomienda agregar tierra de capote o mantillo para reducir el arrastre de sedimentos por escorrentía (Sosa-Pérez & MacDonald, 2017).

Para la recuperación de la cobertura vegetal, además de la descompactación del suelo, se recomienda implementar acciones de restauración ecológica adaptadas a la morfología del terreno, es decir, favoreciendo el crecimiento de especies arbustivas en los bordes de los taludes y especies de mayor porte hacia las áreas más estables.

4.4 Medidas para compensar el atropellamiento de fauna silvestre y el aislamiento de poblaciones.

El “Manual de compensaciones del medio biótico” (Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, 2018), establece los lineamientos para el diseño e implementación de medidas compensatorias de impactos que afectan el medio biótico, especialmente los componentes de fauna y flora silvestres, cobertura vegetal y contexto paisajístico, para los que no fue posible implementar medidas de mitigación y corrección.

De acuerdo con el Manual, estas compensaciones se deben realizar en ecosistemas con características equivalentes a los afectados, y en proporciones (factor de compensación) ajustadas a las características de dichos ecosistemas. Las compensaciones se pueden realizar mediante tres tipos de acciones diferentes y complementarias:

- **Preservación:** implican la protección de un área que está por fuera de las áreas del SINAP y otras figuras de conservación, y debe ser complementaria a acciones de restauración.
- **Restauración:** se enfocan en el mejoramiento (restauración, recuperación) de las coberturas con el fin de alcanzar las características del ecosistema de referencia.
- **Uso sostenible:** están destinadas a fortalecer actividades productivas que de forma simultánea contribuyen a la conservación del ecosistema.

A pesar de que el Manual establece como propósito general de las medidas de compensación obtener escenarios de “no pérdida neta de biodiversidad”, no contempla de forma explícita medidas encaminadas a restablecer la conectividad

ecosistémica de las poblaciones de fauna silvestre que han sido afectadas debido a la construcción y existencia de infraestructura vial. Medidas de compensación destinadas a la creación y/o fortalecimiento de corredores de conectividad ecológicos funcionales que sean complementarios a los sistemas de pasos de fauna silvestre, pueden contribuir a mitigar el “efecto barrera” generado por la infraestructura vial.

Una alternativa que se podría aplicar (aunque no está contemplada de forma explícita en la versión actual del Manual de compensación del medio biótico) es utilizar el corredor vial para generar conectividad ecosistémica. En algunas carreteras en Australia, se favorece el mantenimiento de vegetación autóctona en bandas de 10 a 200 metros de ancho que van paralelas a las vías en áreas rurales poco pobladas (Valladares, Balaguer, Mola, Escudero, & Alfaya, 2011). Esta estrategia podría adoptarse para la Amazonia colombiana, generando redes de conectividad ecosistémica que entrelacen los principales corredores de conectividad, reduciendo la fragmentación a nivel de paisaje, y reduciendo el efecto de pérdida de coberturas por la potrerización de áreas aledañas a las vías (Milton, Dean, Sielecki, & van der Ree, 2015), y de paso podría actuar como herramienta para evitar la construcción de vías accesorias no autorizadas. La decisión de cobijar y proteger áreas de ecosistemas naturales en los bordes de la infraestructura de transporte implica el mapeo de los parches de vegetación de interés, para integrarlos en las acciones de mantenimiento de la carretera, agregando medidas para evitar el ingreso de la fauna al corredor vial y medidas de permeabilidad (pasos de fauna).

Se hace énfasis en que las medidas de compensación sólo deben contemplarse después de ejercicios cuidadosos orientados a evitar y/o minimizar los impactos del proyecto. Si bien una compensación expresada en nuevas coberturas naturales puede verse como una ganancia ambiental, se debe tener en cuenta que se pueden requerir décadas para llegar a un estado en el que la cobertura de compensación logre generar los bienes y servicios ecosistémicos de la cobertura perdida.

4.5 Medidas de manejo enfocadas a la atención de otros impactos de la infraestructura de transporte

Algunas de las medidas de manejo ambiental para otros impactos de la infraestructura de transporte, consiste en conservar la vegetación de las fajas de seguridad y de los separadores, o ser objeto de acciones de paisajismo con arreglos de herbáceas y arbustos que ofrecen colorido al usuario de la vía. Sin embargo, estos corredores verdes pueden ser para algunas especies de fauna silvestre, corredores de conectividad, hábitat, o áreas de consecución de alimento, pueden actuar como barreras para el ruido, la luz y el material particulado provenientes de la vía, o pueden ser la ruta de dispersión para especies invasoras.

Tanto en las fajas de seguridad como en los separadores se debe favorecer la presencia de especies de plantas nativas de la región, evitando emplear plantas foráneas de rápido prendimiento y crecimiento que se pueden constituir en invasoras. Adicionalmente, en estas dos áreas se debe evitar la siembra de especies de plantas cuyos frutos atraigan a muchas especies de fauna, ya que parte de la fauna atraída podría tener que cruzar la vía para acceder a los frutos.

Si bien desde el punto de vista de la conservación de los ecosistemas se aspira a minimizar la pérdida de coberturas vegetales naturales, en las áreas aledañas al derecho de vía deben primar las consideraciones de seguridad para los usuarios de la vía. Las fajas de retiro deben mantenerse libres de árboles y en los casos en que se decida mantener uno o más árboles, se deberán tomar las correspondientes medidas de señalización y protección tanto para los árboles como para los usuarios de la infraestructura de transporte.

Las medidas que se presentan a continuación se concentran en tres grupos de impactos, que a pesar de no ser incluidas tradicionalmente en los impactos generadores del efecto barrera, si tienen efectos negativos sobre la distribución de las especies al alterar las condiciones microambientales en los bordes de la infraestructura vial, y en los bordes de los ecosistemas en que se manifiestan.

4.5.1 Mitigación del ruido

La operación de la infraestructura vial genera ruido, el cual afecta a la fauna silvestre de forma distinta de acuerdo con la sensibilidad auditiva específica de cada especie, lo que puede derivar en alteraciones conductuales o fisiológicas. Las principales fuentes de ruido son los motores de los vehículos en tránsito y el desplazamiento de estos sobre la superficie de rodadura.

Para reducir el ruido generado por los motores, además de implementar medidas de reducción acústica en el diseño de los vehículos, se recomienda diseñar la vía minimizando las curvas verticales y manteniendo pendientes moderadas, lo que disminuye el esfuerzo del motor durante el desplazamiento. Para mitigar el ruido derivado del contacto de las llantas con la superficie de rodadura se destaca el uso de mezclas de polímeros, superficies de rodadura permeables al sonido o recubrimientos especiales que absorban el ruido, sin generar impactos negativos sobre el medio ambiente

La medida más común para reducir la dispersión del ruido generado por la operación de las vías es la instalación de barreras físicas destinadas a amortiguar o desviar las ondas sonoras. Estas barreras deben diseñarse considerando las características particulares del ruido que se desea mitigar. En zonas con pasos de fauna, es recomendable ubicar estas barreras acústicas en paralelo con las barreras

establecidas para evitar que los animales ingresen a la vía, e idealmente, integrarlas en una única estructura cuando las condiciones lo permitan.

Las barreras vegetales, aunque menos eficientes que las barreras artificiales en la reducción directa del ruido, son recomendables como medidas complementarias por ser económicas y no rígidas, reduciendo así los riesgos para los usuarios de la vía. Sin embargo, se debe evaluar cuidadosamente que estas barreras vegetales no se conviertan en un recurso atrayente de fauna al proporcionar alimento, perchas o refugio, lo cual podría incrementar la probabilidad de atropellamientos.

Adicionalmente, estas barreras vegetales deben considerarse desde un enfoque ecológico integral que permita no solo mitigar el ruido, sino también mantener o mejorar la conectividad ecológica entre los hábitats fragmentados por la infraestructura vial. De igual forma, otras estrategias complementarias, como la creación de zonas de amortiguamiento vegetales en áreas sensibles o críticas para la fauna, pueden aportar beneficios simultáneos al reducir los impactos del ruido, proporcionar áreas seguras para el tránsito de la fauna y contribuir a restaurar o mantener la conectividad ecológica.

Cuando se considere pertinente, especialmente para especies sensibles o focales, se recomienda realizar estudios especializados adicionales que permitan determinar con precisión los umbrales auditivos específicos, optimizando así la efectividad de las medidas implementadas.

Las barreras acústicas deben ser evaluadas periódicamente para garantizar su efectividad y ajustadas según sea necesario en función de los cambios en el uso de la carretera y las características de la fauna local.

4.5.2 Mitigación de la iluminación

Para el caso de las luminarias, la recomendación general es minimizar la contaminación lumínica, especialmente en áreas sensibles como bosques o hábitats naturales cercanos a la vía, donde la luz artificial puede afectar negativamente los hábitos nocturnos de la fauna. Se recomienda reducir la cantidad e intensidad de luminarias, utilizar luces de baja intensidad o de luz cálida, y direccionarlas adecuadamente para evitar afectar las zonas naturales adyacentes. Por ejemplo, se pueden restringir a puntos de cruce con otras vías, o puntos de parada del transporte público.

Adicionalmente, se recomienda explorar soluciones innovadoras como la iluminación adaptativa, utilizando sensores de movimiento o sistemas inteligentes que reduzcan automáticamente la intensidad lumínica según el flujo vehicular y las condiciones ambientales particulares del entorno. Por ejemplo, se puede implementar iluminación más tenue en horarios de baja circulación vehicular o activar las luminarias únicamente al detectar movimiento, lo que reduce

significativamente la contaminación lumínica y minimiza el impacto sobre la fauna nocturna.

Asimismo, es importante considerar cuidadosamente la iluminación proveniente de los vehículos. Particularmente en curvas o zonas sensibles, los haces de luz pueden ingresar hacia ecosistemas naturales adyacentes y generar perturbaciones sobre la fauna. En estos casos, es pertinente la instalación de barreras físicas para bloquear o atenuar estos haces lumínicos. Por ejemplo, en el viaducto de un área de manglar en Colombia se implementó una extensión vertical del concreto para evitar que las luces de los vehículos afectaran a las aves que usan las copas de los manglares cercanos como sitios de descanso nocturno.

4.5.3 Control de la dispersión de especies invasoras

Para las especies nativas que utilizan las fajas de seguridad del corredor vial ya sea como rutas de desplazamiento o como áreas de hábitat, se recomienda mantener una cobertura arbustiva compuestas por especies nativas, que las mantenga parcialmente ocultas de los usuarios de la vía y de posibles depredadores, sin embargo, esta situación requiere análisis y monitoreos cuidadosos ya que si bien estas especies pueden contribuir a frenar la entrada de especies invasoras, también pueden fomentar la llegada de depredadores, aumentando el riesgo de eventos de atropellamiento de fauna silvestre.

El mantenimiento de coberturas continuas de herbáceas perennes (de especies nativas de la región) permite controlar el establecimiento de especies invasoras, por lo que para las fajas de retiro y los separadores, se recomienda evitar la permanencia de áreas desnudas o de áreas con parches sin vegetación (Milton, Dean, Sielecki, & van der Ree, 2015), en las que semillas de plantas invasoras dispersadas por el viento, por los vehículos, o por animales, encuentren terreno fértil para su establecimiento.

En cuanto al control de dispersión de fauna invasora, se recomienda:

- Incluir estructuras como túneles y viaductos en áreas de transición entre ecosistemas, de modo que se pierda la continuidad de la faja de retiro por tramos suficientemente largos para limitar la dispersión de las especies invasoras.
- Establecer tramos cortos con fuertes reducciones de la faja de retiro, preferiblemente en áreas de baja velocidad de tránsito, en los que domine la presencia de cobertura arbórea nativa en lugar de áreas transformadas, reduciendo la disponibilidad de espacios hábitat para especies generalistas (manteniendo condiciones adecuadas de seguridad vial).

5 Grupos y especies focales de fauna, criterios de selección y de movilidad

A continuación, se presentan los criterios mínimos para la selección de grupos y especies focales de conectividad funcional, limitaciones al desplazamiento y poblacionales y se incluyen grupos y especies priorizadas para la Amazonia colombiana.

5.1 Criterios de conectividad funcional

Los criterios de conectividad funcional para la selección de grupos y especies focales de fauna parten de análisis de fragmentación y conectividad ecológica. Se deben considerar las respuestas conductuales de las especies ante la continuidad del paisaje y su interacción con el medio, reflejadas en su capacidad de desplazamiento, requisitos de hábitat, grado de especialización, nivel de tolerancia a cambios y la presencia de depredadores y competidores (Sinchi, 2018).

Adicionalmente, es fundamental incorporar otros criterios que influyen en la conectividad funcional y la conservación de la biodiversidad:

- Vulnerabilidad genética y resiliencia a perturbaciones ambientales: Evaluar la diversidad genética de las especies y su capacidad para adaptarse a cambios ambientales es crucial. Las especies con baja diversidad genética o poca resiliencia son más susceptibles a extinciones locales, por lo que su conservación requiere estrategias específicas.
- Importancia ecológica de las especies clave: Identificar y priorizar especies que desempeñan roles esenciales en la estructura y funcionamiento del ecosistema, como polinizadores, dispersores de semillas o controladores de poblaciones, es vital. La ausencia de estas especies puede desencadenar efectos en cascada que afectan la biodiversidad y la estabilidad del ecosistema.

Para el desarrollo de los análisis de conectividad funcional, se recomienda la "Metodología homologada para realizar estudios de fragmentación, motores de fragmentación y conectividad ecológica del paisaje amazónico colombiano, en tres diferentes ámbitos de alcance geográfico: regional, subregional y local" (Sinchi, 2018).

5.2 Criterios de limitaciones al desplazamiento.

Los criterios de limitaciones al desplazamiento para la selección de grupos y especies focales de fauna consideran cuáles son las especies cuyos requerimientos de movilidad presentan mayores grados de afectación por la infraestructura carretera y para las cuales se orientan las estructuras de paso de fauna,

identificando sus limitaciones y el tipo de estructuras complementarias que se requieren para garantizar la efectividad de los pasos de fauna, razón por la que estos criterios deben ser aplicados en las etapas de elaboración de estudios y diseños previo a la ejecución de los proyectos.

El uso de especies carismáticas tradicionalmente empleadas como “especies sombrilla” suele generar errores de interpretación dado que en la base del concepto de especie sombrilla como herramienta de conservación, se busca que abarquen gran cantidad de hábitats diferentes de modo que al protegerlas se protejan de forma indirecta muchas otras especies. Así, aunque no se pueden descartar completamente, la selección de las especies para el análisis de conectividad funcional para pasos de fauna debe priorizar especies con poblaciones de tamaño reducido, con distancias de dispersión no muy elevadas, con distribución restringida y/o con mecanismos y hábitos de locomoción que impliquen limitaciones para su desplazamiento, ya que estas serán las especies que se verán afectadas por el efecto barrera y sobre cuyas poblaciones se podrían generar impactos negativos por atropellamiento de individuos y/o por aislamiento de poblaciones.

5.3 Criterios poblacionales.

En relación con los criterios poblacionales, en forma adicional a los criterios de limitaciones al desplazamiento, se debe dar prioridad a las especies incluidas en los listados de especies amenazadas a nivel regional y/o nacional. Esto, atendiendo a que dentro de los criterios empleados para su inclusión en dichos listados, se realizan análisis de área de ocupación, pérdida de hábitat, y riesgo de extinción.

Se debe realizar un análisis del impacto de la infraestructura vial sobre la conectividad de las poblaciones de las especies con mayor grado de amenaza regional. En el caso que se concluya que el proyecto vial tiene efectos negativos sobre estas poblaciones, se deben proponer soluciones de permeabilidad adecuadas para minimizar el efecto de barrera (en primera instancia se debe buscar evitar estos impactos).

Por otro lado, se debe evaluar la presencia de eventos migratorios locales o regionales que puedan ser afectados al alterar áreas utilizadas durante los desplazamientos o al interrumpir las rutas de tránsito. Ejemplos claros de este caso son las migraciones estacionales de cangrejos de la familia Gecarcinidae entre la costa y la tierra firme, o los movimientos periódicos de peces a lo largo de los ríos (migraciones longitudinales) o entre los ríos y sus tributarios o sus ciénagas (migraciones laterales), y en el caso de los bosques inundables, los movimientos entre cuerpos de agua permanentes y las áreas inundadas.

5.4 Grupos y especies priorizadas para la Amazonia colombiana.

Con el fin de establecer las estructuras asociadas a la vía que cumplen la función de facilitar el cruce de la fauna silvestre es necesario identificar tanto las especies, o grupos de especies, como sus preferencias de movilidad con el fin de enfocar los esfuerzos a la selección, ubicación, diseño y construcción de sistemas de pasos de fauna. El conjunto de especies focales debe cumplir en lo posible, el mayor número posible entre las siguientes condiciones:

- Tener alta sensibilidad a la fragmentación y/o estar incluidas dentro de las especies comúnmente afectadas por atropellamiento de fauna.
- -Ser conspicuas, para facilitar su identificación durante los monitoreos.
- Tener limitaciones funcionales o comportamentales para el uso de estructuras de pasos de fauna.
- Ser especies carismáticas y/o de valor de uso para la comunidad, de modo que el monitoreo pueda extenderse a acciones de base comunitaria.
- Contar con estudios de requerimientos de hábitat, que permitan establecer hipótesis de base para los monitoreos.

Se hace una caracterización de grupos de fauna para identificar especies o grupos de especies que son especialmente vulnerables a la fragmentación generada por la infraestructura de transporte. Posteriormente, se hace un análisis de las características que deben tener los pasos de fauna que se propongan con el fin de restablecer la conectividad funcional para las especies o grupos de especies identificadas. Estas especies focales se pueden emplear incluso como indicadores del estado de la conectividad funcional entre fragmentos de ecosistemas aislados por la infraestructura vial. A continuación, se presentan los grupos y especies focales identificados para la región amazónica y se caracterizan algunos de los potenciales impactos de la infraestructura carretera sobre ellos.

5.4.1 Aves

Para la Amazonía colombiana se ha registrado 1158 especies de aves, lo que representa aproximadamente el 75% de las especies del país; esta cifra no es de ninguna manera definitiva y podría aumentar con el resultado de nuevos muestreos y con la distribución potencial de algunas especies, se estima podrían a ser más de 1400 (SIAC - Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2018).

En el área de influencia de la iniciativa Corazón de la Amazonía se encuentran algunas áreas definidas como de importancias para la conservación de las aves,

como el PNN Serranía de Chiribiquete (BirdLife international, 2018), y las riberas del río Duda en el PNN Tinigua (BirdLife International, 2018).

Para el área de las riberas del río Duda, en más de 15 años de investigación se han registrado cerca de 441 especies de aves, y se han realizado estudios sobre paujiles como *Crax salvini* y *Crax alector* y sobre frugívoros como *Querula purpurata*. (BirdLife International, 2018), y se han realizado inventarios de aves para el PNN Serranía de Chiribiquete, y para el área de la Serranía de la Lindosa.

En cuanto al impacto de la fragmentación de áreas naturales, sobre las aves, se ha concluido que algunas especies son más sensibles que otras, como se muestra a continuación:

- En la cordillera Occidental de Colombia se identificaron procesos de extinción local de casi un tercio de la avifauna, asociados a la fragmentación del bosque, identificando como grupos especialmente vulnerables a los frugívoros grandes y a los insectívoros del sotobosque (Kattan, Alvarez-López, & Giraldo, Forest fragmentation and bird extinctions: San Antonio eighty years later, 1994), (Rengifo, 1999).
- En la región de Cuyabeno en Ecuador se encontró que las aves insectívoras del interior del bosque tenían más probabilidades de estar ausentes en áreas fragmentadas (Canaday, 1997).
- En el bosque atlántico en Brasil se encontró que en fragmentos pequeños había ausencia relativa de frugívoros (Bovo, y otros, 2014).
- En la isla de Barro Colorado, en el canal de Panamá, a pesar de tener área de 1.500 hectáreas, se encontró que se han extinguido más de 50 especies de aves y muchas otras han tenido declinaciones significativas (Robinson W. D., 1999).
- Un estudio centrado en aves insectívoras del sotobosque en la región de Manaos (Brasil), mostró que algunas especies (*Cyphorhinus arada*, *Hylophilus ochraceiceps* y *Thamnomanes ardesiacus*) no se encuentran en fragmentos pequeños, mientras que hay otras especies moderadamente sensibles (*Formicarius colma* and *T. caesius*) si están en fragmentos pequeños, mientras que otras especies (*Perchnostola rufifrons* and *Hypocnemis cantator*) encuentran ventajas en la fragmentación y se encuentran en todos los tipos de hábitat.
- En otro estudio en la región de Manaos, se identifica algunas especies como proclives a patrones de extinción local en fragmentos pequeños (*Myrmornis torquata*, *Grallaria varia*, *Hyllopezus macularius*), y otras como *Myrmothera campanisona* se calificaron como tolerantes a la fragmentación (Stratford & Stouffer, 2015).

En un estudio en áreas de la municipalidad de Pará al este de la Amazonia brasileña, se encontró una relación negativa entre la densidad de carreteras y la riqueza y la composición de especies de aves al interior del bosque, en áreas de baja deforestación (Ahmed, y otros, 2018). Al interrumpir los patrones de movimientos, las vías alteran la riqueza de especies y la composición creando metapoblaciones inestables, aislando subpoblaciones de especies que pueden terminar siendo vulnerables a extinciones locales (Ahmed, y otros, 2018). Adicionalmente, la presencia de vías genera una serie de cambios ambientales como la proliferación de bordes de hábitat que resulta en la alteración de microclimas, luz y niveles de follaje, que a su vez favorece a las especies de bordes o de claros, por lo que en las áreas de bordes se observa una reducción de especies insectívoras especialistas, solitarias y terrestres (Ahmed, y otros, 2018), y aún las vías angostas pueden alterar los movimientos de muchas especies de aves asociadas al interior del bosque, particularmente las insectívoras (Ahmed, y otros, 2018). Por el contrario, la conectividad permite mantener un alto número de especies y de individuos, y permite que las aves utilicen diferentes tipos de fragmentos (Martenen, Pimentel, & Metzger, 2008).

Para otras especies, la creación de corredores resulta en un incremento poblacional, como el caso de los cuervos (*Corvus alba*) en Sudáfrica, Botswana y Zimbabwe (Grant, Seymour, & Foord, 2017), asociado a la disponibilidad alimento en áreas abiertas y a la disponibilidad de sitios de anidamiento en los postes de telégrafo.

Por otro lado, aunque no se considera que es un impacto de magnitud inferior al generado por la fragmentación, el atropellamiento de aves debe ser tenido en cuenta dentro de las medidas de manejo al momento de diseñar y/o adecuar una vía. En un estudio de 2010 en la actual Ruta del Sol en el departamento del Cesar, se encontró que las aves eran el segundo grupo con más registros de atropellamiento (17,4%), después de los mamíferos, teniendo mayor frecuencia dos especies que aprovechan cadáveres: el caracara de cabeza amarilla (*Milvago chimachima*) con 3,8 y el gallinazo (*Coragyps atratus*) con 2,4%, junto con la lechuza *Tyto alba* (3,5%), que mantiene un vuelo a baja altura y que puede verse atraída por una mayor densidad de presas en el derecho de vía, y seguidos por dos especies principalmente insectívoras que podrían asociarse con las áreas abiertas del derecho de vía: el garrapatero (*Crotophaga ani*) con 1,8% y el pechiamarillo (*Pitangus sulphuratus*) con 1,8% (Payán, Soto, Díaz-Pulido, Benitez, & Hernández, 2013). En carreteras de la zona de los Montes de María (Sucre) se encontró que las aves representan solo el 4,2% de la fauna atropellada siendo dominantes el gallinazo (*C. atratus*) y el pechiamarillo (*P. sulphuratus*) con 1,4% cada una (de la Ossa-Nadjar & de la Ossa, 2013); en otra vía primaria entre Toluvié y la ciénaga La Caimanera (Sucre), se encontró que las aves representan el 28,8% de la fauna atropellada, siendo dominantes el garrapatero (*C. ani*) y los gallinazos (*C. atratus* y *Cathartes aura*) con el 32,3% y el 29,0% del grupo respectivamente (de la Ossa & Galván-Guevara, 2015). En un estudio en un tramo de la Troncal del Caribe que

bordea el Parque Nacional Natural Tayrona, se encontró un bajo atropellamiento de aves, que parece relacionarse con la presencia de árboles de altura considerable a los lados de la carretera, que podrían facilitar la conectividad para este grupo (Adárraga Caballero & Gutiérrez Moreno, 2017).

5.4.1.1 Especies focales

Dado que, en términos generales, las aves frugívoras y las insectívoras de sotobosque se identifican como las más vulnerables a la fragmentación, se seleccionó un grupo de 4 familias de aves frugívoras relativamente grandes o insectívoras de sotobosque, con presencia en la Amazonia colombiana. Para cada una de ellas se presenta una evaluación inicial de su potencial como indicador de impactos ambientales generados por la infraestructura de transporte terrestre, y se profundiza en los hábitos de algunas de las especies más promisorias para dicho fin.

Cracidae

En la Amazonía colombiana esta familia incluye pavas y paujiles, siendo los segundos (géneros *Crax*, *Mitu*, *Pauxi* y *Nothocrax*) de hábitos terrestres, frugívoros y restringidos casi completamente a interior de bosque y por lo tanto con mayores restricciones para desplazarse entre fragmentos (Brooks, The utility of hotspots identification for forest management: cracids as bioindicators, 2006) (Brooks & Strahl, 2000).

Por ser aves con presiones por cacería, por destrucción / fragmentación de hábitat (Kattan, Muñoz, & Kikuchi, 2016), y por ser poblaciones relativamente fáciles de monitorear, se han propuesto como poblaciones indicadoras del estado de los bosques (Franco & Santamaría, 1995) (Brooks & Strahl, 2000). Es necesario destacar que el conocimiento de los hábitos y la ecología de los crácidos en general es débil y requiere del desarrollo de investigaciones puntuales, al punto que esta necesidad es la primera de las recomendaciones en el Plan de conservación publicado por la UICN (Brooks & Strahl, 2000).

En el listado de aves del PNN Serranía de Chiribiquete (Álvarez, y otros, 2003), se reporta la presencia de 3 paujiles: *Mitu tomentosum*, *Mitu salvini*, y *Crax alector*, de los cuales los dos últimos han sido reportados también para la estación de investigación de la Universidad de los Andes en el PNN Tinigua (Cadena, y otros, 2000). De estas especies, la que cuenta con mayor información es la que se presenta a continuación:

Mitu salvini:

En estudios en el PNN Tinigua se han determinado rangos de hábitat de entre 155 hectáreas (Franco & Santamaría, 1995), y 72 hectáreas (Parra, Agudelo, Molina, & Londoño, 2001), incluyendo principalmente áreas de bosque ripario, bosque maduro y en menor proporción bosque de ladera, áreas abiertas; el uso de las coberturas de bosque está determinado por los cambios en la distribución y abundancia de frutas en los bosques inundable y maduro (principalmente *Guarea guidonia*), por lo que se concluye que esta variable es determinante en sus desplazamientos (Santamaría & Franco, 2000). El uso de áreas abiertas y bosques riparios se asocia a la búsqueda de invertebrados, especialmente cangrejos y durante el inicio de la temporada de lluvias. Los bosques inundables en el área de estudio fueron los únicos utilizados para anidación, por lo que aparentemente son de vital importancia para esta especie.

Los trabajos en el PNN Tinigua sugieren que esta especie es monógama (parejas estables a lo largo de varios años), y muestran que los grupos están integrados por dos adultos, macho y hembra, y una cría (Franco & Santamaría, 1995). Dentro de sus actividades diarias se incluyen, además de la alimentación, periodos de descanso, acicalamiento, baños de tierra y vigilancia. Esta última actividad (vigilancia) parece presentarse cuando perciben algo que los pone en alerta, lo que se explica por la variedad de depredadores que pueden alimentarse de ellos, incluyendo águilas, felinos, y seres humanos.

En cuanto a sus desplazamientos, se tiene que son diurnos y aunque pueden volar para pasar obstáculos como ríos, raramente lo hacen, limitando generalmente el vuelo para desplazarse entre ramas, o del suelo a ramas. En un seguimiento de 19 días en la cuenca del río Duda sólo se observaron vuelos de larga distancia en dos ocasiones (Yumoto, 1999).

Trogonidae

Son aves frugívoras e insectívoras, anidan en cavidades naturales, troncos huecos, o en cavidades que ellos mismos excavan en termiteros, avisperos o troncos sin vida (Hilty & Brown, 2001). De las 5 especies que coinciden en los listados de aves del PNN Serranía de Chiribiquete (Álvarez, y otros, 2003) y del PNN Tinigua (Cadena, y otros, 2000), *Trogon rufus* es el que menos parece asociarse a áreas intervenidas y por tanto se restringe al interior del bosque (Skuth, 1959), donde se puede encontrar en estratos medios o bajos, y a menudo en el sotobosque donde incluso persigue grupos de hormigas legionarias (Hilty & Brown, 2001), y llega a asociarse a los recorridos de alimentación de cusumbos (*Nasua nasua*) (Beisiegel, 2007). Esta especie en particular anida en cavidades que excava en troncos “muertos en pie”, de menor diámetro que otros trogones (Skuth, 1959).

Para el trogón de cola blanca (*T. viridis*), una especie que a diferencia de *T. rufus* está habituada a áreas intervenidas, en un estudio en Mato Grosso, Brasil (Lees & Peres, 2009) se encontró que sólo cruzan espacios abiertos de hasta 12m, por lo que podría esperarse que *T. Rufus* encuentre barreras en áreas abiertas de menor tamaño.

Formicariidae

Es una familia de aves principalmente insectívoras, que se alimenta en el suelo o cerca de él. La especie *Chamaeza nobilis* está en los listados de aves del PNN Serranía de Chiribiquete (Álvarez, y otros, 2003) y del PNN Tinigua (Cadena, y otros, 2000), se asocia a bandadas mixtas que siguen ejércitos de hormigas legionarias y hace parte de las aves que no cruzan espacios abiertos (Lees & Peres, 2009) y por lo tanto podría ser un buen indicador de impactos relacionados con fragmentación y pérdida de conectividad.

Thamnophilidae

Son aves insectívoras que forrajea principalmente en el sotobosque y que suelen hacer parte de bandadas mixtas. Para el Batará gris (*Thamnophilus aethiops*), reportado para PNN Chiribiquete, se registra que en un estudio en Mato Grosso, Brasil (Lees & Peres, 2009), solo cruzó espacios abiertos de hasta 7m, mientras que según otros autores se asocia a claros (Wunderle, Willig, & Pinto Henriques, 2005).

5.4.2 Mamíferos

Para el sector norte del PNN Serranía de Chiribiquete se reportan 82 especies de mamíferos, pertenecientes a 8 órdenes, 18 familias y 63 géneros (Mantilla-Meluk, y otros, 2017), abarcando el 15,6% de la diversidad de mamíferos de Colombia.

Al igual que otros grupos de fauna, los mamíferos se ven afectados principalmente por la fragmentación y la pérdida de conectividad, que afecta de forma diferencial a las especies en consideración a sus capacidades de dispersión físicas y comportamentales. Las vías pueden alterar procesos muy locales como el comportamiento de dispersión de semillas por parte de roedores (Cui, y otros, 2018), hasta procesos de gran escala como la conectividad y rangos de hábitat para grandes felinos (Poessel, y otros, 2014).

De forma más directa, las vías se convierten en barreras que limitan los desplazamientos, lo cual se evidencia en los registros de atropellamiento de fauna. Si bien no hay estudios específicos sobre el atropellamiento de mamíferos en las vías de la Amazonia colombiana, es factible hacer inferencias a partir de las investigaciones desarrolladas sobre ese tema en otras partes del país:

- En una vía de Antioquia en 2008 (Delgado Vélez, 2014), se registró mortalidad de 15 de las 30 especies de mamíferos reportadas para el departamento, siendo los más abundantes los marsupiales (56%), seguidos de carnívoros (24%) y roedores (18%).
- En un tramo de 174 km de la Ruta del Sol, en el Cesar, encontró que el 55,9% de los animales atropellados son mamíferos de 32 especies, siendo las de mayor frecuencia el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) con 27,1%, la chucha o fara (*Didelphis marsupialis*) con 13,5%, y el zorro cañero o cangrejero (*Cerdocyon thous*) con 9,1% (Payán, Soto, Díaz-Pulido, Benítez, & Hernández, 2013).
- En la región de los Montes de María en el periodo 2011-2012 (de la Ossa-Nadjar & de la Ossa, 2013), encontró que los mamíferos representan el 19,2% de la fauna atropellada, con una amplia dominancia de la chucha o fara (*Didelphis marsupialis*) con el 70,5% del grupo, seguida de lejos por el zorro cañero (*Cerdocyon thous*) y el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) con el 1,4% cada uno.
- En la carretera de Toluviejo a la ciénaga La Caimanera (Sucre), se concluyó que el 28,1% de los animales atropellados son mamíferos, siendo los más abundantes el zorro cañero o cangrejero (*C. thous*), el oso hormiguero (*T. mexicana*) y la chucha (*D. marsupialis*) con 10,9%, 7,7% y 6,1% respectivamente (de la Ossa & Galván-Guevara, 2015). La vía de este estudio discurre por áreas con relictos de bosques (Montes de María), por sabanas antrópicas y por áreas de manglar, y 44,6% de los mamíferos atropellados se encontraron en áreas de sabanas antropizadas, lo que se podría asociar a una menor densidad de estructuras hidráulicas que puedan actuar como pasos de fauna.
- En la Troncal del Caribe, en el Vía Parque Isla de Salamanca y en límites del Parque Nacional Natural Tayrona, se encontró que los mamíferos son el grupo con mayor frecuencia de atropellamientos, con el 37% de los casos registrados, siendo dominantes el mapache (*Procyon cancrivorus*) y la chucha (*D. marsupialis*), que aportaron respectivamente el 14,4% y el 12,0% del total de datos (Adárraga Caballero & Gutiérrez Moreno, 2017).
- En la Reserva del Bosque de Yotoco (Valle del Cauca), se encontró que algunas especies de pequeños mamíferos transitan de forma paralela a la carretera por tramos de hasta 600 metros sin atravesarla, mientras que otros la atraviesan con relativa frecuencia, haciendo evidente un efecto inhibición parcial al cruce de la vía que puede estar asociado a diversos factores como evitar áreas abiertas con alta probabilidad de depredación, alteraciones en condiciones microambientales, cambios en la estructura vegetal, o por el alto nivel de tráfico

de la vía (3.000 vehículos diarios), entre otros (Vargas-Salinas & López-Aranda, 2012).

Al igual que los resultados de estudios en otras áreas de Latinoamérica, los estudios de atropellamiento de fauna en Colombia indican de forma reiterada que los grupos de mamíferos más afectados son los Xenartra y los marsupiales. Esta conclusión encuentra apoyo adicional en los resultados de estudios en Brasil (Brum, Santos-Filho, Canale, & Ignacio, 2018) (Pracucci Gomes, Alves da Rosa, & Bager, 2012).

5.4.2.1 Xenarthra

Es un grupo de mamíferos que únicamente se encuentra en América y se caracteriza por presentar unas articulaciones vertebrales a nivel lumbar que son únicas entre los mamíferos. Cobija 3 órdenes bien diferenciados:

- Osos hormigueros (Vermilingua)
- Perezosos (Folívora)
- Armadillos (Cingulata)

Aunque tienen bajas densidades de población, una o más especies de xenartras se ubica entre las 5 más atropelladas en el 90% de los estudios de atropellamiento de fauna, y el grupo representa más del 50% de los atropellamientos reportados en el 33,3% de los artículos científicos publicados sobre el tema para el área del El Cerrado en Brasil (Ribeiro, Silveira Miranda, & Rodriguez de Araujo, 2017). Algunas características de los xenartra pueden contribuir a su alta tasa de atropellamiento, por ejemplo, la mayoría tienen mala visión y su anatomía los impide moverse con agilidad, los armadillos carecen de una membrana ocular que ayuda a capturar luz en condiciones de baja luz y que genera un reflejo cuando recibe una luz fuerte, algunos hormigueros tienen un rango auditivo que no capta el ruido de los motores y del tráfico, y los perezosos son de movimientos notablemente lentos.

5.4.2.2 Vermilingua: Hormigueros

Los hormigueros habitan bosques tropicales y sabanas, y encuentran refugio en árboles, troncos huecos o madrigueras construidas por otros animales; se alimentan básicamente de hormigas, termitas y otros insectos, utilizando sus fuertes garras delanteras para romper los nidos, y su larga y pegajosa lengua para capturar las presas (también consumen algunas frutas). Tienen un buen sentido del olfato, pero baja capacidad visual y auditiva. Por requerimientos metabólicos (baja temperatura corporal), su actividad es menor en las horas de mayor insolación, y por la misma

razón, el uso del hábitat está relacionado con la temperatura ambiental (Desbiez & Medri, 2010). Para Colombia se registran las siguientes 4 especies, siendo *Tamandua mexicana* la única para la que no se tienen reportes en Amazonia.

Cyclopes didactylus:

Son hormigueros pequeños, restringidos a coberturas de bosque tropical y de hábitos arborícolas y nocturnos; aunque pueden desplazarse en el suelo, rara vez descienden de los árboles (Nowak & Paradiso, 1983). Al ser pequeños, arborícolas y nocturnos, son difíciles de encontrar

Myrmecophaga tridactyla:

Es el más grande de los hormigueros, alcanzando entre 18 y 39 kg. Se encuentra en áreas pantanosas, bosques y sabanas; un estudio en El Cerrado brasileño encontró que utiliza áreas agrícolas y puede utilizar las carreteras como corredores de desplazamiento (Gaudin, Hicks, & Di Blanco, 2018), sin embargo parece evitar carreteras con tránsito de más de 2.600 vehículos por día (Pinto, Bager, Clevenger, & Grilo, 2018). Puede cruzar ríos nadando y realizar galopes cortos aunque normalmente se desplaza lentamente; llega a usar un área de hasta 9.000 hectáreas (Nowak & Paradiso, 1983), y en un estudio en Brasil se afirma que para mantener una población viable se requiere un área de entre 24.700 y 49.800 hectáreas con una densidad máxima de 0,21 km/km² de carreteras (Pinto, Bager, Clevenger, & Grilo, 2018). En cuanto a la densidad de individuos, para el área del Pantanal en Brasil se encontró que hay entre 0,1 individuos por hectárea en áreas abiertas y 0,2 individuos por hectárea en áreas boscosas (Desbiez & Medri, 2010).

Tamandua tetradactyla:

Es de tamaño mediano, alcanzando alrededor de 7 kg; es principalmente nocturno, hábil trepador de árboles y de desplazamiento lento en el suelo (Nowak & Paradiso, 1983) y utiliza árboles y cuevas de armadillos para descansar (Hayssen, 2011). El área que usa un individuo está entre 100 y 375 hectáreas (Hayssen, 2011), y en el Pantanal brasileño se encontró que tienen una densidad de entre 0,12 individuos por hectárea en áreas abiertas y 0,41 individuos por hectáreas en coberturas de bosques (Desbiez & Medri, 2010).

Tanto *M. tridactyla* como *T. tetradactyla* están entre las 5 especies con más registros de atropellamientos en el 33% de los estudios de atropellamiento de fauna silvestre para el área de El Cerrado en Brasil (Ribeiro, Silveira Miranda, & Rodriguez de Araujo, 2017). Esta situación, junto con una baja tasa de natalidad y una baja densidad de población lleva a que se estime que el atropellamiento del oso palmero (*M. tridactyla*) en el área de El Cerrado en Brasil, podría llevar a la población local a su extinción en unos 15 años (Ribeiro, Silveira Miranda, & Rodriguez de Araujo, 2017). Adicionalmente, datos que están siendo actualmente procesados por la

Fundación Palmarito muestran como tendencia que los hormigueros están entre las especies más atropelladas en la Orinoquía colombiana

Para efectos de planear estrategias de monitoreo del impacto de la infraestructura de transporte terrestre sobre la fauna, los hormigueros tienen algunas características llamativas como el ser conspicuos (al menos los géneros *Tamandúa* y *Myrmecophaga*) y tener grandes rangos domésticos, pero su baja densidad poblacional llevaría a que los registros sean escasos, dificultando el análisis de la información.

5.4.2.3 Folívora: Perezosos

Para el país se registran tres especies de perezosos según la estrategia nacional para la conservación de perezosos (Moreno & Plese, 2005): *Bradypus variegatus*, *Choloepus didactylus*, *Choloepus hoffmanni*. De estas especies, sólo las 2 primeras tienen registros para la región amazónica (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004) (Plese, Reyes-Amaya, Castro-Vasquez, Giraldo, & Feliciano, 2016).

Tienen un muy buen sentido del olfato y baja capacidad auditiva; son herbívoros que se alimentan casi exclusivamente de hojas y frutas, y si bien pasan la mayor parte del tiempo en árboles y sus movimientos son en general muy lentos, ocasionalmente se desplazan por agua nadando pero no pueden pararse en el suelo y caminar por lo que se limitan a cortos desplazamientos (arrastrándose) (Nowak & Paradiso, 1983). En un estudio en Panamá se encontró que solo el 11% de los individuos de *Bradypus variegatus* mostraba movimientos diarios de 38 metros o más, mientras que el 54% de los individuos de *Choloepus hoffmanni* superaban esa distancia (Sunquist & Montgomery, 1973).

Los perezosos del género *Choloepus* tienen limitaciones térmicas y suelen estar activos únicamente durante el día, mientras que los del género *Bradypus* no muestran picos de actividad en el día o en la noche (Sunquist & Montgomery, 1973), sin embargo, se ha encontrado que los individuos de este último género pasan de un árbol a otro aproximadamente 4 veces menos que los individuos de *Choloepus* y por lo tanto tienen una dieta de menor variedad (Nowak & Paradiso, 1983). Para *B. variegatus* se ha estimado un “home range” de 41,4 árboles de 24 especies diferentes, y preferencia por árboles con doseles expuestos al sol (Hayssen, *Bradypus variegatus* (Pilosa: Bradypodidae), 2010).

Estas limitaciones en locomoción aumentan su vulnerabilidad a la fragmentación por la dificultad que implica pasar de un fragmento a otro cuando no cuenta con corredores de conectividad en los que las ramas se entrelacen de forma continua; los espacios abiertos se convierten en barreras insuperables para ellos (Moreno & Plese, 2005). Al mismo tiempo, se considera (Moreno & Plese, 2005) que la pérdida de conectividad entre fragmentos de bosque puede conducir a extinciones locales

por aislar a estos animales de potenciales parejas reproductivas y de lugares estacionales de alimentación.

Si bien los perezosos no suelen estar entre la fauna con más reportes de atropellamiento, si alcanzan el 25% de los registros de atropellamiento en un estudio en El Cerrado en Brasil (Ribeiro, Silveira Miranda, & Rodriguez de Araujo, 2017), y el 0,6% en un estudio de 2010 en la Ruta del Sol en el departamento del Cesar (Payán, Soto, Díaz-Pulido, Benitez, & Hernández, 2013)

En cuanto a la presión que genera el comercio ilegal de especies, si bien la información disponible indica que esta se concentra en el norte del país y no en la Amazonía, se estima que el 90% de los perezosos capturados para comercio ilegal de especies mueren en las manos de traficantes o compradores, y el 10% termina en centros de rehabilitación (Moreno & Plese, 2005). La apertura de vías al facilitar el acceso a áreas antes remotas y generar bordes de bosque, podría aumentar la cantidad de encuentros entre los cazadores ilegales y los perezosos.

En cuanto a la conveniencia de utilizar estas especies para monitorear el impacto de la infraestructura de transporte terrestre, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Son altamente vulnerables a la fragmentación, puesto que los espacios abiertos se convierten en barreras que cruzan con dificultades.
- Son de movimientos lentos, y altamente vulnerables a atropellamientos cuando cruzan vías vehiculares.
- La coloración de su pelaje, las posiciones que suelen adoptar, y su quietud hacen que sea relativamente difícil observarlos.

Si bien los dos primeros puntos los convierten en organismos llamativos para estrategias de monitoreo, el tercer punto dificulta la realización de inventarios y conteos en áreas de bosque denso, por lo que se recomienda descartarlos como especies focales para monitoreo del impacto de las vías.

5.4.2.4 Cingulata: Armadillos

Se caracterizan por una capa de protección con placas duras unidas por piel flexible, que forma un caparazón más o menos flexible, según la especie. Tienen buen sentido de la vista, del oído y del olfato, se alimentan de insectos y otros invertebrados, pequeños vertebrados, material vegetal y carroña; son de hábitos terrestres y cuentan con fuertes garras que les permiten excavar y rasgar; pueden correr relativamente rápido, y son hábiles excavadores de madrigueras (Nowak & Paradiso, 1983).

Para Colombia se registran 6 especies (debe tenerse en cuenta que la taxonomía del grupo ha sufrido cambios en los últimos años), de las cuales 4 han sido reportadas en la Amazonia: *Priodontes maximus*, *Cabassous unicinctus*, *Dasypus kappleri*, y *Dasypus novemcinctus*.

Priodontes maximus:

Es el más grande del grupo, puede medir 1,5 metros de nariz a cola y llega a pesar 60 kg. Habita bosques poco alterados y usualmente cerca del agua, es nocturno y de movimientos ágiles, se alimenta principalmente de termitas, pero también aprovecha hormigas, otros insectos y pequeños invertebrados, larvas, serpientes y carroña (Nowak & Paradiso, 1983).

Cabassous unicinctus:

Conocido como armadillo cola de trazo por carecer de placas protectoras en la cola, habita bosques húmedos y sabanas, es solitario, nocturno, terrestre y de movimientos lentos, se alimenta de termitas y de hormigas, y suele hacer madriguera en termiteros abandonados, con una sola entrada (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004).

Dasypus kappleri:

Son armadillos medianos de hasta 11 kg, de hábitos principalmente nocturnos que habitan bosques húmedos; se alimentan de termitas, hormigas, otros insectos y pequeños vertebrados; sus madrigueras se encuentran cerca de las orillas de años y ríos (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004).

Dasypus novemcinctus:

Son armadillos medianos de hasta 6 kg, de hábitos principalmente nocturnos que habitan bosques y matorrales en áreas húmedas, generalmente con vegetación densa; se alimentan de hormigas, termitas, otros insectos, pequeños vertebrados, hongos, frutas y carroña, y excavan grandes madrigueras de hasta 2m de largo, con varias entradas (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004). Generalmente son de movimientos lentos, pero pueden desplazarse relativamente rápido, generalmente hacia la madriguera en comportamiento de huida (Nowak & Paradiso, 1983). Un estudio en Florida (Estados Unidos) encontró que tienen un área doméstica ("home range") de entre 1,1 y 13,8 hectáreas (Nowak & Paradiso, 1983).

Los armadillos no se incluyen entre los grupos de mayor atropellamiento de fauna, al menos en los estudios realizados en Colombia, sin embargo en un estudio en el

área de El Cerrado en Brasil (Ribeiro, Silveira Miranda, & Rodriguez de Araujo, 2017), representaron el 44% de los registros de atropellamiento

5.4.2.5 Didelphimorphia

Es un grupo diverso con más de 60 especies y en general son animales pequeños y muy adaptables, con picos de actividad en horas de la tarde y la noche y con hábitos que van desde terrestres hasta semiacuáticos y arborícolas, y que dependiendo de la especie, se alimentan de frutas, invertebrados, o pequeños vertebrados. Para la región amazónica colombiana en general se reportan 6 especies (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004), y para el PNN Serranía de Chiribiquete se reportan 5 especies (Mantilla-Meluk, y otros, 2017). A continuación se hace una breve descripción de 2 de estas especies, por ser las mejor conocidas:

Chucha, fara, o runcho (Didelphidae: *Didelphis marsupialis*).

Son animales de hasta 84,5 cm de longitud (con cola) y 1,6 kg de peso, muy adaptables y recursivos, que habitan sabanas y todos los tipos de bosques, son principalmente nocturnos, solitarios y semiarborícolas; se alimentan de insectos, gusanos, pequeñas serpientes, frutas y néctar. Esta especie se encuentra en toda Colombia, en altitudes inferiores a 2.000 m.s.n.m. (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004).

En 5 de los 6 estudios colombianos de atropellamiento de fauna que se citan más arriba, se menciona que *Didelphis marsupialis* es una de las especies con más registros, es una de las especies de mamíferos más abundantes y ubicuas en el trópico americano (Sunquist, Austad, & Sunquist, 1987). Estudios de su rango doméstico han concluido que utiliza entre 0,25 y 0,75 hectáreas en tierras bajas en Panamá y entre 0,25 y 2,75 hectáreas en bosque húmedo de montaña (Adler, Arboledo, & Travi, 2010).

Por su adaptabilidad, pueden ocupar áreas intervenidas y aún áreas semiurbanas, por lo que no pueden ser consideradas como indicadores de fragmentación de áreas naturales. Sin embargo, al ser una de las especies más comúnmente reportadas en los registros de atropellamiento de fauna en el país, podrían tomarse como indicadores de la efectividad de los pasos de fauna, especialmente en áreas intervenidas.

Chucha de agua, o runcho de agua (Didelphidae: *Chironectes minimus*).

Alcanzan 0,7 kg de peso y 71,8 cm de longitud (con cola), habitan bosques secos y húmedos hasta los 2.000 de altitud en toda Colombia, y son nocturnos, solitarios y

semiacuáticos. Se alimentan de insectos, crustáceos, ranas y peces que consiguen al interior y en las orillas de los cuerpos de agua. Descansan en madrigueras en las orillas de los ríos, construidas con hojas y pasto (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004).

5.4.2.6 Otros grupos de mamíferos

A continuación, se analizan los hábitos y requerimientos de hábitat de algunos mamíferos presentes en la Amazonía colombiana, que podrían ser utilizados como indicadores de la conectividad e integridad de los ecosistemas, y/o como indicadores de la efectividad de los pasos de fauna por factores como su forma de locomoción, su capacidad para superar obstáculos como áreas abiertas o desniveles, y su facilidad de detección e identificación.

Churuco o mono lanudo (Atelidae: *Lagothrix lagothericha*):

Es un primate relativamente grande que puede pesar hasta 10,8 Kg (Nowak & Paradiso, 1983), catalogado como especie vulnerable (VU) según la resolución 1912 de 2017 de Minambiente, por amenazas a su supervivencia como la deforestación, la fragmentación de hábitat y la cacería (García-Toro, Link, Páez-Crespo, & Stevenson, 2019). Esta especie se encuentra en toda la región amazónica colombiana, con registros desde el río Duda hasta el límite con Brasil (Defler T. R., 2013), incluyendo el PNN Chiribiquete (Mantilla-Meluk, y otros, 2017). Vive en grupos de entre 10 y 49 individuos que se desplazan juntos o en subgrupos en busca de frutas, en recorridos que se relacionan de forma directa con el tamaño del grupo y con la disponibilidad de fruta, y de forma negativa con la calidad del hábitat ya que tienden a evitar áreas abiertas y degradadas donde la producción de frutos es generalmente menor que en el bosque maduro (Stevenson, 2006). Por lo anterior, sus rangos de hábitat tienen entre 100 hectáreas (Di Fiore, 2003) en el Parque Nacional Yasuní en Ecuador, a entre 200 en PNN Tinigua y 1.000 hectáreas en la parte Sur-oriental de la Amazonia colombiana (García-Toro, Link, Páez-Crespo, & Stevenson, 2019).

Permanece habitualmente en el dosel del bosque en alturas entre 20 y 30 m sobre el suelo, aunque suele descender hasta 10 o 12 m de altura e incluso ocasionalmente baja al suelo por algún fruto caído (Defler T. R., 2010). Los recorridos diarios dependen de la disponibilidad de alimentos, y en promedio alcanzan entre 1.500 m en el área del río Duda y 2.880 m en el área del río Apaporis (Defler T. R., 2010). En estos recorridos es común verlos acompañados de otras especies de primates como el chiquico (*Saimiri sciureus*) y el maicero (*Cebus apella*), y el sonido de las frutas que van cayendo a su paso atrae aves como paujiles y mamíferos como venados (*Mazama americana* y *Mazama gouazoubira*), guaras (*Dasyprocta fuliginosa*), cerillos (*Tayassu tajacu*) y puercos de monte (*Tayassu*

peccari) (Defler T. R., 2010). Esta asociación con otras especies podría ser utilizada como herramienta para atraer especies hacia los pasos de fauna terrestres que podrían estar ubicados por debajo de pasos de fauna arbóreos en rutas de forrajeo de los churucos.

Danta o tapir (Tapiridae: *Tapirus terrestris*):

Esta especie, conocida también como “tapir de tierras bajas” es el único tapir en la Amazonia colombiana, alcanza hasta 2,2m de longitud, 1,1 m de altura, y 250 kg; se alimenta principalmente de frutas y hojas, y suele encontrarse cerca de cuerpos de agua permanentes o estacionales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005). Son animales relativamente longevos, con bajas densidades poblacionales, con bajas tasas de natalidad, y por lo tanto, con baja capacidad de recuperar poblaciones afectadas. Adicionalmente son muy susceptibles a la fragmentación y a la pérdida de conectividad ya que al atravesar áreas alteradas suelen ser presa de depredadores y cazadores, pueden ser objeto de atropellamiento en carreteras, y pueden adquirir enfermedades del ganado (García, Medici, Naranjo, Novarino, & Leonardo, 2012).

Sus patrones de actividad son principalmente nocturnos y según un estudio en la provincia de Misiones en Argentina, la probabilidad de detectarlos es proporcional a la presencia de cuerpos de agua y al ancho de las trochas, y es inversamente proporcional a la presión de cacería (Cruz, Paviolo, Bó, Thompson, & Di Bitetti, 2014). En general utilizan bosques riparios y evitan áreas abiertas, también usan cuerpos de agua como áreas de descanso, o como rutas entre áreas de alimentación, y usan áreas de vegetación densa como sitios de descanso diurno. Suelen utilizar un sistema de trochas para moverse entre las áreas de descanso, de forrajeo y de defecación. Los desplazamientos habituales pueden incluir recorridos nocturnos de 10 km para utilizar un saladero (Tobler, 2008).

En un área protegida de la Mata Atlántica en Brasil, se registraron rangos de hábitat de entre 1.100 y 14.200 ha, con solapamientos de 37% de las áreas de diferentes individuos (García, Medici, Naranjo, Novarino, & Leonardo, 2012), y en un estudio en la cuenca media del río Caquetá, en Colombia, se registró un rango de hábitat de 5.196 ha para un individuo subadulto que se mantuvo durante los 7 meses de seguimiento (rastreo satelital) a distancias inferiores a 400m de los cuerpos de agua (Gonzales Delgado, 2016), manteniendo rutas con pocos cambios de altitud y descansando durante el día en áreas ligeramente más altas, por fuera de las rutas.

En cuanto a las especies vegetales preferidas por los tapires de tierras bajas, se ha encontrado que estas difieren según la zona en que se realice el estudio, y en términos generales parece reflejar la disponibilidad de frutos en el área. Para el caso de los estudios en la cuenca media del río Caquetá, se encuentra un mayor consumo de frutos de la palma canangucha o moriche (*Mauritia flexulosa*) a lo largo

de todo el año (Gonzales Delgado, 2016) (Vélez, Espeleta, Rivera, & Armenteras, 2017).

Saíno, puerco de monte, o pecarí de collar (*Tayassuidae: Pecari tajacu*).

Son animales grandes, de hasta 1,25 m de largo y 35 kg de peso, viven en grupos de entre 2 y 20 individuos (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004), en bosques húmedos y secos hasta 2.000 m de altitud en toda Colombia, y se ha registrado en el PNN Chiribiquete (Mantilla-Meluk, y otros, 2017). Se alimentan principalmente de frutas, caracoles, invertebrados y pequeños vertebrados, incluyendo serpientes.

Son ligeramente más pequeños que el pecarí labiado o cafuche (*Tayassu pecari*) que vive en grupos mucho más numerosos de hasta 300 individuos y aunque suelen ocupar los mismos hábitats y consumir recursos similares, no fueron registrados en el norte del PNN Chiribiquete (Mantilla-Meluk, y otros, 2017). Por el tamaño de los grupos, el pecarí labiado requiere grandes áreas de hábitat, que en una isla en la Amazonia brasileña se calculó en 10.960 ha (Judas & Henry, 1999) y en la Mata Atlántica, en 2.550 ha (Keuroghlian, Eaton, & Longland, 2004).

El tamaño del área de hábitat del pecarí de collar tiene una relación positiva con la producción de fruta en el bosque, aumentando en las temporadas de lluvias cuando las frutas son más abundantes. En un estudio en una isla en la Amazonia brasileña se determinaron rangos de hábitat de hasta 1.170 ha (Vieira Fragoso, 1999), en la Mata Atlántica hasta 443 ha (Keuroghlian, Eaton, & Longland, 2004), y en la Guyana francesa entre 157 y 243 ha (Judas & Henry, 1999). Si bien en algunos de los estudios las áreas de los diferentes grupos se solapan, los grupos (piaras) no suelen interactuar entre sí (Judas & Henry, 1999). Se destacan el uso repetitivo de caminaderos o senderos entre áreas de alimentación y descanso, y el seguimiento ocasional de tropas de primates del género *Cebus*, aprovechando su habilidad para ubicar árboles con frutos, y la lluvia de frutas que van cayendo a su paso (Robinson & Eisenberg, 1985).

Al vivir en grupos relativamente pequeños y ocupar áreas más pequeñas que las del pecarí labiado, el pecarí de collar puede tolerar mejor la alteración del hábitat (Vieira Fragoso, 1999) (Keuroghlian, Eaton, & Longland, 2004), y a diferencia del pecarí de collar no utiliza áreas abiertas como sabanas, limitándose a áreas de bosque, humedales con palmas y vegetación ribereña (Vieira Fragoso, 1999).

Venado de cola blanca (*Cervidae: Odocoileus virginianus*).

Es el venado de mayor tamaño en Colombia, y su distribución geográfica (Morales-Jiménez, Sánchez, Poveda, & Cadena, 2004) sólo exceptúa el Norte de la península de la Guajira, y el Sur de la Amazonia. Si bien esta especie no se reporta en los registros de atropellamiento de fauna del país, si está incluida como una de las

principales especies involucradas en colisiones fauna-vehículos en Estados Unidos, por lo cual su comportamiento en relación con los pasos de fauna ha sido objeto de estudios (Donaldson, 2005), (Branden, y otros, 2008)

5.4.3 Reptiles:

Un estudio en el área protegida Barbas-Bremen, localizada entre los departamentos de Caldas y Risaralda (López-Herrera, León-Yusti, Guevara-Molina, & Vargas-Salinas, 2016), en una zona en la que una vía secundaria intercepta varios corredores de conectividad, encontró que a pesar de la presencia de relictos de bosques, las serpientes con mayor susceptibilidad al atropellamiento en la carretera son las que se asocian a áreas abiertas y no las serpientes arborícolas asociadas a las áreas con cobertura boscosa. Sin embargo, esta conclusión también es indicio de que la vía secundaria podría estar actuando como una barrera para el desplazamiento de las serpientes de hábitos arbóreos. En otro estudio en esta misma vía secundaria (Quintero-Ángel, Osorio-Dominguez, Vargas-Salinas, & Saavedra-Rodriguez, 2012) se concluye que la alta tasa de atropellamiento de serpientes en la zona se asocia a factores como su baja velocidad de desplazamiento, al uso de la superficie de la vía como fuente de calor (Arroyave, y otros, 2006), y al comportamiento de permanecer quietas cuando un vehículo se acerca.

En algunos estudios de atropellamiento de fauna realizados en el país se menciona a las serpientes entre los herpetos con mayor frecuencia de eventos, como se muestra a continuación:

- En el departamento del Cesar los reptiles alcanzaron el 25,3% de los registros de atropellamiento de fauna silvestre, siendo los de mayor abundancia la iguana (Iguana iguana) con 10,6% y la boa (Boa constrictor) con el 5,6%; el grupo de las serpientes alcanzó un total de 10,9%, mientras que los cocodrilos y las tortugas alcanzaron respectivamente 0,9 y 0,6% (Payán, Soto, Díaz-Pulido, Benitez, & Hernández, 2013).
- En vías cercanas a los Montes de María en el periodo 2011-2012 (de la Ossa-Nadjar & de la Ossa, 2013), encontró que los reptiles representan el 35,4% de la fauna atropellada, con una amplia dominancia de las serpientes con el 85,4% del grupo.
- En la carretera de Toluviejo a la ciénaga La Caimanera (Sucre) encontró que los reptiles conforman el 21,8% de los atropellamientos de fauna silvestre, y que dentro de este grupo las iguanas (I. iguana) aportan el 48,9%, seguidas por las serpientes con el 39,4% y por los lagartos del género Ameiva con el 11,7% (de la Ossa & Galván-Guevara, 2015).

- En la Troncal del Caribe, En el Vía Parque Isla de Salamanca y en límites del Parque Nacional Natural Tayrona, se encontró que los reptiles aportan el 19,71% de los casos registrados, siendo dominantes la boa (*Boa constrictor*) y la iguana (*I. iguana*), que representan respectivamente el 14,9% y el 4,8% del total de datos (Adárraga Caballero & Gutiérrez Moreno, 2017). En las conclusiones de este estudio se destaca que un porcentaje importante de los atropellamientos se registró en las bermas de la vía, por lo que se infiere que algunos de estos eventos pueden ser intencionales por tratarse de animales consideradas como dañinas o peligrosas.

Adicionalmente, en cuatro estudios de atropellamiento de fauna en Brasil, los reptiles aportan cifras cercanas al 14% del total de registros (Lima Santos, y otros, 2017), (Pracucci Gomes, Alves da Rosa, & Bager, 2012), (Machado, Fontes, Mendes, Moura, & Romao, 2015), principalmente serpientes. En Rio Grande del Sur, Brasil en un estudio enfocado en el atropellamiento de reptiles, el 70% de los registros correspondió a serpientes (Oliveira Goncalves, y otros, 2018).

Estudios en el Lago Jackson, en Florida (Estados Unidos), dividido por una autopista por la que transitan 21.500 vehículos al día, concluyen que la mortalidad de las tortugas que buscaban alcanzar el lado opuesto de la vía llegaba al 98%. La instalación de barreras de 0,6m de altura que dirigen a las tortugas y otra fauna de tamaño pequeño hacia alcantarillas que dan paso al otro lado de la vía, redujeron la mortalidad a menos del 1% (Aresco, 2003).

5.4.3.1 Serpientes

En términos generales las serpientes necesitan un rango doméstico (“home range”) de tamaño relativamente grande para cubrir sus necesidades de alimentación, refugio y reproducción. Esto conlleva a que en sus desplazamientos lleguen a cruzar con frecuencia las vías que discurren por sus hábitats, lo que aunado a ser relativamente lentas en su locomoción, hace que sean especialmente susceptibles al atropellamiento (Quintero-Ángel, Osorio-Dominguez, Vargas-Salinas, & Saavedra-Rodriguez, 2012). Si bien las serpientes tienden a evitar las vías, cuando “deciden” cruzarlas lo hacen en ángulos muy cercanos a los 90° (Shine, Lemaster, Wall, Langkilde, & Mason, 2004), minimizando así el recorrido sobre el sustrato artificial, se debe tener en cuenta que entonces su cuerpo se encontrará en posición perpendicular al sentido de tránsito de los vehículos, aumentando la exposición al atropellamiento.

Una investigación desarrollada en el estado de Amazonas, Brasil, en el que en 83 días de recorrido de un tramo de 50 km, registró encontraron 156 serpientes atropelladas, encontrando que el 61,5% eran de hábitos terrestres, el 16,03% de hábitos arborícolas, el 17% semiarborícolas, el 7,69% fosoriales y el 0,64% de

hábitos acuáticos (Mashio, Santos-Costa, & Prudente, 2016). En el análisis del estudio en mención se afirma que las serpientes se ven obligadas con frecuencia a abandonar su hábitat primario y cruzar barreras naturales y/o artificiales, lo cual explica la presencia de especies arborícolas, fosoriales y acuáticas en los registros de atropellamiento.

Por su parte, en un estudio de atropellamiento de serpientes en la vía entre Villavicencio y Puerto López (Rincón, Urbina, Galeano, Bock, & Páez, 2019), se encontraron cadáveres de 33 especies diferentes que representan casi la totalidad de especies registradas para el departamento, sin encontrar diferencias significativas entre las coberturas aledañas a la vía, ni entre la precipitación, y por ende, la humedad del suelo.

Un impacto indirecto de la infraestructura de transporte, sobre las serpientes, es que los rastros de feromonas que guían a los machos en la búsqueda de hembras reproductivas son más difíciles de seguir en la superficie de las vías aún en vías destapadas que sobre coberturas naturales. En un estudio en la provincia de Manitoba en Canadá (Shine, Lemaster, Wall, Langkilde, & Mason, 2004) se prepararon rastros de feromonas en áreas naturales y cruzando vías, y se encontró que cuando los machos que seguían el rastro llegaban al borde de la vía, se detenían abruptamente, algunos abandonaban el rastro y se dispersaban a otras actividades, mientras que los que optaban por continuar tras el rastro, cruzaban la vía aumentando la velocidad de desplazamiento y minimizando el uso de la lengua para comprobar el rastro, hasta alcanzar el borde opuesto de la vía.

En cuanto a los reptiles que habitan en el Corazón de la Amazonia, se cuenta con un listado preparado a partir de la revisión de colecciones previas obtenidas durante algunas expediciones al parque (Súarez-Mayorga & Lynch, 2017)

Tabla 1. Especies de reptiles registradas y esperadas para el PNN Serranía de Chiribiquete.

Grupo	Familia	Número de especies registradas	Otras especies que podrían estar en el área
Serpientes	Boidae	2	3
	Colubridae	25	27
	Elapidae	4	4
	Leptotyphlopidae	1	1
	Viperidae	3	2
	Typhlopidae	0	3
	Amphisbaenidae	2	1
Lagartos	Dactyloidae	4	1
	Gymnophthalmidae	9	4
	Iguanidae	1	0
	Phyllodactylidae	1	0

	Polychrotidae	0	1
	Scincidae	1	0
	Sphaerodactylidae	1	2
	Teiidae	3	1
	Tropiduridae	4	0
Tortugas	Chelidae	0	6
	Kinosternidae	0	1
	Podocnemidae	2	2
	Testudinidae	1	1
Caimanes	Alligatoridae	2	0

Fuente: Adaptado de (Súarez-Mayorga & Lynch, 2017)

La información disponible al momento no permite identificar especies o grupos específicos de serpientes o de otros reptiles presentes en la Amazonia, que sean más sensibles que otras a los impactos generados por la infraestructura de transporte terrestre, o que puedan tomarse como indicadores de la efectividad de los pasos de fauna que se deben implementar en las vías que se propongan para esta región.

5.4.4 Anfibios

Este grupo incluye las ranas, las salamandras y las cecilias (o serpientes ciegas), siendo las primeras las más estudiadas por abundancia y diversidad.

5.4.4.1 Impactos de la infraestructura vial sobre los anfibios

Si bien los estudios de ecología de carreteras no suelen centrarse en este grupo, los anfibios son especialmente sensibles a la apertura de vías en áreas predominantemente naturales. En una carretera cerrada al uso desde 2010 en el amazonas ecuatoriano, se encontró que el efecto de borde altera la composición de especies de anfibios hasta una distancia de 100 metros al interior del bosque (Maynard, Aall, Saenz, Hamilton, & Kwiatkowski, 2016); mientras que en una vía estrecha y con baja densidad de uso abierta en la reserva de la biósfera Yasuní, también en la Amazonia ecuatoriana, se encontró que las ranas que habitan en bromelias sobre árboles a alturas entre 20 y 45 metros de altura, son menos abundantes cerca de la vía (McCracken & Forstner, 2014).

Algunos autores afirman que los anfibios están entre los vertebrados más afectados por el atropellamiento en carreteras (Beebee, 2013) pero que ese impacto se subestima por los métodos de muestreo. Una comparación entre muestreos realizados desde un vehículo a una velocidad entre 40 y 60 km/h, en comparación con muestreos caminando (Pereira, Calabuig, & Wachlevski, 2018), mostró que

desde el carro sólo se registraba el 4% de los individuos y el 22% de las especies, dejando de lado las especies más pequeñas.

Los anuros son susceptibles al atropellamiento, en parte porque necesitan moverse entre diferentes ambientes para completar sus ciclos de vida (Pereira, Calabuig, & Wachlevski, 2018), y cuando las vías separan los hábitats de los individuos inmaduros de los hábitats de la fase adulta, se ven obligados a cruzar las carreteras, exponiéndose aún más por sus bajas velocidades de desplazamiento (Bouchard, Ford, Eigenbord, & Fahrig, 2009) y por su susceptibilidad a la deshidratación.

De los siete estudios de atropellamiento de fauna en Colombia que se revisaron, 3 tienen registros de anfibios:

- En el departamento del Cesar los anfibios alcanzaron el 1,5% de los registros de atropellamiento de fauna silvestre, (Payán, Soto, Díaz-Pulido, Benitez, & Hernández, 2013).
- En vías cercanas a la región de los Montes de María en el periodo 2011-2012, se encontró que los anfibios representan el 40,7% de la fauna atropellada, con una amplia dominancia del sapo común (*Rhinella marina*) con el 82,6% del grupo, 2012 (de la Ossa-Nadjar & de la Ossa, 2013).
- En la carretera de Toluviejo a la ciénaga La Caimanera en Sucre, se encontró que los anfibios conforman el 21,3% de los atropellamientos de fauna silvestre, y que dentro de este grupo son dominantes los sapos del género *Rhinella* con el 31,5% (de la Ossa & Galván-Guevara, 2015). La vía de este estudio discurre por áreas con relictos de bosques (Montes de María), por sabanas antrópicas y por áreas de manglar, y 48,9% de los anfibios atropellados se encontraron en áreas de sabanas antropizadas, lo que se podría asociar a una menor densidad de estructuras hidráulicas que puedan actuar como pasos de fauna.

La probabilidad de atropellamiento fue calculada para una carretera en la península de Djursland, al norte de Dinamarca (Hels & Buchwald, 2001), encontrando que para vías con tráfico promedio diario de 3.207 vehículos, la probabilidad de atropellamiento oscila entre 0,34 a 0,61, pero que en vías de mayor tráfico la probabilidad aumentaba a entre 0,89 y 0,98, por lo que para 2 especies de ranas, se estimó una mortalidad anual por atropellamiento del 10% de la población, cifra que para el caso de la Amazonia podría tener consecuencias alarmantes sobre la viabilidad de la población y podría conducir a extinciones locales.

Por último, para el caso de los anfibios se debe tener en cuenta que algunas especies presentan eventos reproductivos en los que se reúnen grandes cantidades de individuos, ocasionando migraciones locales que se asocian con mortandades masivas por atropellamiento (Monge-Nájera, 2018), (Zhang, y otros, 2018).

La fuerte asociación de los anfibios con áreas húmedas permanentes o estacionales facilita la identificación de sitios en los cuales se deberían implementar medidas de manejo como pasos de fauna. Al respecto, un análisis de las medidas empleadas para mitigar los impactos de las carreteras sobre los anfibios (Beebee, 2013) afirma que los pasos subterráneos junto con barreras que conduzcan hacia ellos son probablemente la mejor opción.

En cuanto a los anfibios que habitan en el Corazón de la Amazonia, se cuenta con un listado preparado a partir de la revisión de colecciones previas obtenidas durante algunas expediciones al Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete (Súarez-Mayorga & Lynch, 2017)

Tabla 2: Especies de anfibios registradas y esperadas para el PNN Serranía de Chiribiquete.

Grupo	Familia	Número de especies registradas	Otras especies que podrían estar en el área
Ranas	Brachycephalidae	3	2
	Bufo	10	1
	Centrolenidae	1	0
	Dendrobatidae	4	3
	Hemiphractidae	0	1
	Hylidae	20	17
	Leptodactylidae	11	2
	Microhylidae	3	2
	Pipidae	0	1
	Ranidae	0	1
Cecilias	Caeciliidae	0	1
	Siphonidae	0	2
	Typhlonectidae	0	2
Salamandras	Plethodontidae	0	1

Fuente: Adaptado de (Súarez-Mayorga & Lynch, 2017)

La información disponible al momento no permite identificar especies o grupos de especies de anfibios presentes en la Amazonia, que puedan tomarse como indicadores de la integridad de los ecosistemas frente a los impactos generados por la infraestructura de transporte terrestre, o que puedan tomarse como indicadores de la efectividad de los pasos de fauna que se deberían implementar en las vías que se propongan para esta región.

5.4.5 Peces

La Amazonia colombiana comprende 8 cuencas y 78 subcuencas, para las cuales se ha registrado una diversidad de al menos 675 especies de peces (Bogotá-

Gregory & Maldonado-Ocampo, 2006), destacándose los órdenes Characiformes con 14 familias y 367 especies y Siluriformes con 11 familias y 228 especies. Esta diversidad de peces es utilizada por los habitantes de la región como fuente de alimentos (subsistencia), como instrumento de intercambio y en algunos casos también como fuente de recursos económicos (Instituto Amazónico de investigaciones científicas - Sinchi, 2000).

El color de las aguas de los ríos de la Amazonia se puede clasificar en tres categorías, con características diferenciadas de condiciones fisicoquímicas y de disponibilidad de nutrientes, como se muestra a continuación (Prieto-Piraquive, 2000):

- **Aguas blancas:** Blancas: Transportan gran cantidad de sedimentos arrastrados desde la cordillera de los Andes, tienen baja transparencia, contenido alto de nutrientes y un valor de pH cercano al neutro. Los ríos de aguas blancas como el Amazonas presentan una alta riqueza ictiológica y de fauna acuática, tanto en el cauce del río como en las áreas aledañas sujetas a inundaciones periódicas. El sistema del río Amazonas y sus planos de inundación son los responsables de la mayor productividad pesquera de las aguas continentales.
- **Negras:** Drenan áreas rocosas de granitos y cuarzitas; deben su color al alto contenido de ácidos húmicos ocasionados por la descomposición parcial de la materia orgánica, lo que le brinda características de pH ácidas, baja transparencia y pobreza en nutrientes disueltos, repercutiendo en una pobre biota acuática.
- **Claros:** Drenan suelos lateríticos poco frecuentes en la zona, son transparentes, con pH ligeramente ácido y pobreza en nutrientes disueltos, la biota acuática es similar a la que habita en aguas negras.

Tanto en los ríos de aguas claras como en los de aguas negras, las condiciones fisicoquímicas limitan en crecimiento de vida acuática vegetal, desde fitoplancton hasta macrófitas, limitando entonces la disponibilidad de alimento para los peces. La principal fuente alimenticia en estos ríos es material alóctono (Prieto-Piraquive, 2000), y proviene de la cobertura vegetal riparia (como frutos, semillas e insectos) y de elementos aportados por la escorrentía que lava suelos especialmente pobres en nutrientes. En estas condiciones, se desarrolla una comunidad de peces con alta riqueza de especies, poca abundancia de individuos, y baja biomasa aunada a dominancia de especies pequeñas (Prieto-Piraquive, 2000).

Estas características de los ríos, junto con aspectos como el tipo de ecosistema que cruzan, la presencia de aguas rápidas (raudales, saltos o chorros) y la disponibilidad de áreas de agua lénticas permanentes (lagunas y madre viejas) o estacionales (áreas de inundación en planicie y/o en bosque), generan condiciones de hábitat, que a su vez determinan la diversidad y composición de especies que habitan en

determinados tramos de los ríos. Algunas especies son especialistas para determinados hábitats y tienen movimientos limitados a lo largo de las cuencas, y por lo tanto son más sensibles a impactos puntuales en el agua, mientras que otras especies utilizan diferentes hábitats, presentando migraciones longitudinales (a lo largo de los ríos) y/o laterales (hacia los tributarios y/o aguas lénticas).

Para la Amazonia colombiana se han identificado al menos 68 especies migratorias (Zapata & Usma, 2013), incluyendo especies de grandes bagres (Siluriformes: Aaridae) que llegan a migrar más de 3.000 kilómetros desde el estuario del Amazonas y las cabeceras de sus afluentes en Colombia y Perú (Zapata & Usma, 2013). Algunas de estas migraciones no se restringen al bioma amazónico, y alcanzan el piedemonte andino, como en el caso del río Putumayo, donde se registran migraciones hasta la cuenca alta del río Mocoa, que involucran especies como *Prochilodus nigricans*, *P. rubrotaeniatus*, *Astyanax fasciatus*, *Schizodon fasciatus*, *Salminus hilarii*, *Brycon melanopterus* y *Pimelodus spp.* (Ortega-Lara, Maldonado-Ocampo, & Usma, 2009).

Para el área específica del Corazón de la Amazonia también se han registrado migraciones de peces, como en el caso de la cuenca del río Mesay (de aguas negras), en la zona Suroriental del PNN Serranía de Chiribiquete, en la que se presentan migraciones de especies como *Leporinus agssizii*, *L. fasciatus*, *Brycon falcatus*, *B. melanopterus*, *Myloplus rubriinnis*, *Hydrolycus scomberoides*, *Raphiodon vulpinus* y *Pimelodus blochii*, que utilizan las grandes extensiones de planicies inundadas como fuente de alimentos (principalmente frutas y semillas) durante periodos de aguas altas entre julio y septiembre (Blanco-Parra & Bejarano-Rodríguez, 2006).

5.4.5.1 Impactos de la infraestructura vial sobre las poblaciones de peces

La construcción y operación de carreteras puede generar impactos sobre los cuerpos de agua y sobre las comunidades hidrobiológicas que los habitan; los principales impactos son:

- Alteración y/o taponamiento de los puntos más altos de las cabeceras de quebradas, por la construcción de terraplenes, sustituyendo obras hidráulicas.
- Cambios en la hidrodinámica (velocidad, profundidad, turbulencia, y/o presencia de desniveles) y en la dinámica de sedimentos por modificación de las condiciones de las orillas, al canalizar cauces, estabilizar taludes, alterar rondas de protección, y al implementar estructuras hidráulicas.
- Reducción y/o eliminación de la cobertura vegetal riparia.

- Aporte de sedimentos por los movimientos de tierra de las actividades de construcción, o por erosión generada por modificación de las orillas y taludes.
- Alteración de caudales, por encauzamiento y entrega de escorrentías que se acumulan mediante estructuras hidráulicas, en lugar de fluir libremente.
- Aporte de contaminantes como hidrocarburos, por escorrentía desde la superficie de la vía.

Un aumento en el aporte de sedimentos a los cuerpos de agua puede generar aumento en los sólidos suspendidos, reduciendo la cantidad de luz que llega a los organismos vegetales y por lo tanto, reduciendo su productividad al afectar la disponibilidad y calidad del alimento disponible para los herbívoros. Un aumento en la cantidad de sedimentos que llegan al cauce puede generar áreas de depósito que ocupan parte del cauce, cambiando las condiciones del fondo y de las orillas. En ríos de aguas claras y/o negras un aumento en la escorrentía proveniente de áreas agrícolas, altera la dinámica de nutrientes, lo que podría llevar a un cambio en la composición de especies.

Por su parte, un aumento en la velocidad del agua podría generar limitaciones para los organismos acuáticos con menor capacidad de desplazamiento. Al respecto debe tenerse en cuenta que además de factores intrínsecos a la especie, la capacidad natatoria de un pez está condicionada por la velocidad, la temperatura, la turbulencia y el oxígeno disuelto en el agua (Ottburg & Blank, 2015).

La velocidad del agua puede aumentar por efecto de canalizaciones y/o dragados del cauce, por el estrechamiento del cauce por causa de estructuras hidráulicas subdimensionadas, o por modificación de las orillas. Estos aumentos de la velocidad de flujo del agua pueden causar a su vez erosión en las orillas del cauce aumentando la llegada de sedimentos, o erosión en el fondo del cauce, generando saltos y/o remansos a entrada y/o a la salida de las estructuras hidráulicas, resuspensión de sedimentos, o profundización del cauce.

Los cambios en la vegetación riparia alteran la cantidad de luz que llega al cuerpo de agua y la temperatura de la misma (por insolación). La eliminación de la cobertura forestal riparia en el caso de los ríos de aguas claras y/o negras, implica una reducción de la disponibilidad de alimento, en hábitats que son naturalmente pobres en nutrientes, y por lo tanto, podrían generar cambios en la abundancia y composición de especies.

Las estructuras hidráulicas utilizadas para la construcción de carreteras sobre cuerpos de agua, constituyen una barrera para el desplazamiento de peces cuando: (i) están subdimensionadas y crean un aumento en la velocidad del agua; (ii) tienen una profundidad de agua insuficiente; (iii) sus dimensiones son pequeñas para el paso de algunas especies; (iv) tiene caídas de agua al ingreso o a la salida (por

diseño o por erosión); y/o porque (v) están bloqueadas con residuos (Ottburg & Blank, 2015).

6 Lineamientos para construcción y/o adaptación de pasos de fauna

6.1 Toma de decisiones

El análisis de la necesidad de pasos de fauna, y su consecuente implementación se ha elevado a la categoría de programas nacionales en países como Holanda (<https://www.mipo.nl/english/>) y Alemania (<https://www.bmu.de/download/das-bundesprogramm-wiedervernetzung/>), con programas de “desfragmentación” para los que se han definido inicialmente intervenciones en 2015 y 93 puntos respectivamente. También se puede tomar como ejemplo el programa europeo del corredor transfronterizo Alpes-Cárpatos que busca implementar un sistema de pasos de fauna que permita evitar la pérdida de conectividad entre estos dos sistemas montañosos de Austria y Eslovaquia (https://ec.europa.eu/regional_policy/en/projects/austria/innovative-alps-carpathians-corridor-re-establishes-a-major-migration-route-for-wild-animals).

Al nivel de ordenamiento ambiental de un territorio se deben identificar los corredores de conectividad funcional, que se requiere proteger y/o recuperar para mantener la biodiversidad a nivel regional, y se deben identificar los cruces y acercamientos entre dichos corredores y la infraestructura (existente y/o en planeación) para hacer una evaluación del estado de la conectividad funcional en dichas áreas y plantear las acciones necesarias para su protección y/o recuperación.

Aunque la aproximación desde el ordenamiento territorial y la planeación ambiental del territorio es la deseable, se debe considerar también la aproximación desde los proyectos de infraestructura, aplicando los lineamientos de infraestructura verde vial y los conceptos de la jerarquía de la mitigación, que involucren en este caso medidas efectivas para mitigar el efecto de barrera.

6.1.1 ¿Cuándo se deben incluir pasos de fauna?

En términos generales, la construcción de Sistemas de pasos de fauna es necesaria cuando la infraestructura de transporte afecta la funcionalidad de corredores de conectividad ecológica o cuando genera fragmentación de ecosistemas. El proceso de decisión implica contar con la siguiente información:

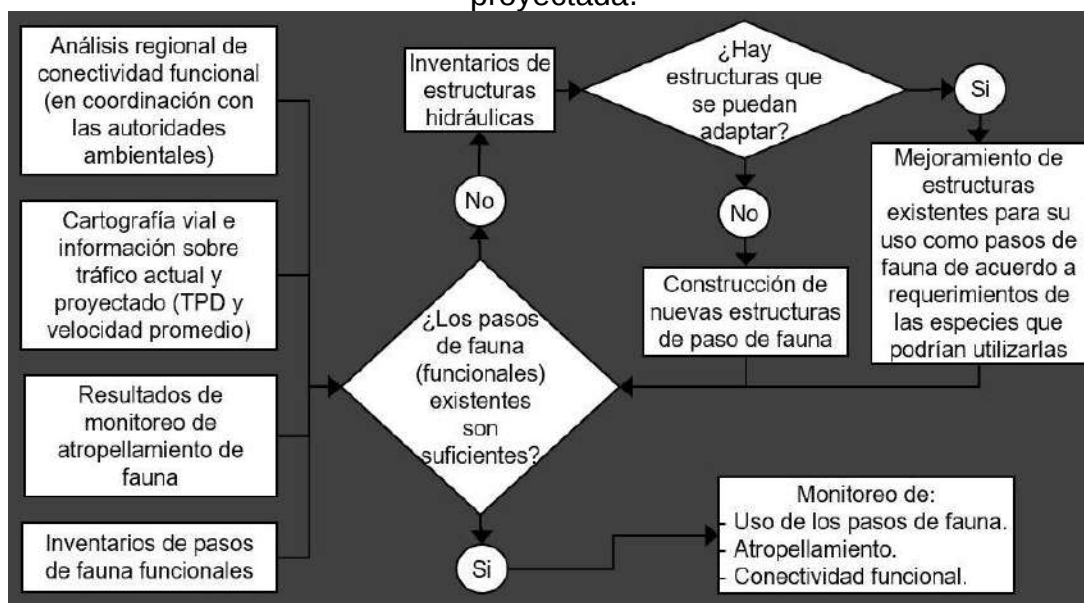
1. Análisis de conectividad ecológica funcional: Se sugiere partir de los resultados de análisis previos que recomiende la autoridad ambiental regional o nacional, y en ausencia de análisis previos se sugiere implementar la metodología

desarrollada por el Instituto Sinchi para la identificación de corredores ecológicos, incluyendo en el análisis la información de los requerimientos de movilidad de las especies focales, u otros estudios que permitan la priorización de áreas importantes para la conectividad de especies seleccionadas, tales como los documentos de Saura et al. (2011), Mateo-Sánchez et al. (2015) y Bodin & Saura (2010), contienen ejemplos que desarrollan estos modelos. Se deben tener en cuenta aspectos como:

- a) Las especies focales deben ser seleccionadas utilizando criterios de conectividad funcional, criterios de limitaciones al desplazamiento, criterios poblacionales. (en el capítulo 5 de este documento se presentan los lineamientos para la selección de las especies focales)
 - b) Los corredores definidos desde el análisis de funcionalidad pueden ser desde coberturas boscosas o rondas hídricas, hasta áreas de pastos (por ejemplo, para osos hormigueros) o aún áreas con muy escasa vegetación (para especies de áreas xerofíticas y subxerofíticas).
 - c) La escala de análisis debe considerar tanto el nivel regional (1:50.000 o 1:25.000) como la escala local (1:10.000 o 1:5.000, o más detallada).
2. Cartografía vial y características de la infraestructura y de su uso: Cuando las características de diseño y las condiciones de uso de la infraestructura generan una barrera para el libre movimiento de la fauna silvestre, impidiendo o dificultando su paso de un lado al otro de la infraestructura, se deben considerar variables como:
- a) Cuando el TPD es superior a 288 (en promedio 1 vehículo cada 5 minutos), cuando la velocidad de circulación sobrepasa los 60 km/h, y/o cuando el efecto de borde de la vía (ruido, luz, microclima, etc.) pueda alejar a las especies focales, se genera un efecto barrera que no necesariamente se manifiesta en atropellamiento de fauna.
 - b) Las curvas horizontales y/o verticales que desembocan en áreas de conectividad funcional, dando menos tiempo al conductor y a los animales para reaccionar generan condiciones propicias para el atropellamiento de fauna.
3. Resultados del monitoreo de atropellamiento de fauna: Para el caso de vías ya construidas que son sometidas a acciones de rehabilitación o mejoramiento, y para el caso de construcción de segundas calzadas adosadas a las existentes, se puede contar con información sobre las áreas de mayor frecuencia de atropellamiento como indicadores de puntos donde se requieren pasos de fauna. Sin embargo, esta información debe ser complementada con el análisis de conectividad funcional para identificar posibles áreas adicionales en que se requiera implementar este tipo de estructuras.

4. Inventario de pasos de fauna funcionales: Hace referencia únicamente a las estructuras que cumplan con las condiciones establecidas para cada tipología de paso de fauna, definidas en el capítulo 6 de este documento. Para el caso de las vías ya construidas, esta información puede basarse en el inventario de estructuras hidráulicas, y para el caso de vías en proceso de planeación o construcción, en la información de diseños fase 3, o de ingeniería de detalle.

Figura 4: Proceso general de definición sobre la necesidad, o no, de incluir Sistemas de pasos de fauna en infraestructura de transporte ya construida, o proyectada.



Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de si los pasos de fauna son suficientes, o no, se hará utilizando la siguiente información:

1. Proyecciones de la franja de conectividad intervenida por el proyecto, el rango de movimiento de las especies focales, y de ser posible, estimaciones de sus tamaños poblacionales.
2. Resultados de monitoreos de atropellamientos de fauna silvestre, identificando puntos de concentración de estos eventos, así como las especies afectadas (para el caso de las vías ya construidas)
3. Resultados de monitoreo del uso de los pasos de fauna existentes en el proyecto, o en proyectos en condiciones ecosistémicas similares.

Se deben realizar estudios poblacionales de las especies focales, que permitan, además de estimar los tamaños poblacionales, estimar el estado de las

metapoblaciones a cada lado de la infraestructura vial, sus tendencias de crecimiento (o decrecimiento), y la disponibilidad de recursos a uno y otro lado de la vía.

Para el caso de vías ya construidas, que sean objeto de análisis para mejorar su permeabilidad para el flujo de la fauna silvestre, se hacen las siguientes precisiones:

- Realizar el inventario de estructuras hidráulicas de la vía, para la planeación de las actividades de mantenimiento, rehabilitación o mejoramiento, recopilando información sobre localización y dimensiones de la estructura, altura de la lámina de agua, disponibilidad de pasos secos, y condiciones de las coberturas vegetales circundantes.
- Si el resultado de los monitoreos de atropellamiento de fauna silvestre indica la presencia de “puntos calientes” de atropellamiento, es claro que se requieren medidas de mitigación que incluyan sistemas de pasos de fauna, entre otras medidas de manejo.

Para el caso de las vías que se encuentran en fase de planeación, se hacen las siguientes precisiones:

- El inventario de estructuras hidráulicas que requerirá la construcción y operación de la vía, en este caso con la información de las memorias de cálculo que incluye tanto características de las estructuras como del cauce y su caudal esperado. se obtendría del diseño en fase 3 (“ingeniería de detalle”), o al menos un estimativo inicial en el diseño en fase 2.
- Si bien no se contaría con datos propios de atropellamiento de fauna, se podría recurrir a datos obtenidos de vías cercanas, o que discurran por ecosistemas similares

6.1.2 ¿Dónde se deben ubicar los pasos de fauna?

En el análisis de la ubicación y la tipología de los pasos de fauna deben converger tanto los determinantes de diseño vial, como las condiciones de conectividad funcional que se requiere mantener y/o restaurar. El orden de prioridad para determinar la localización de las estructuras se asocia al resultado de los análisis de conectividad funcional del área de influencia, y en especial al concepto de rutas de mínima resistencia o rutas de menor costo (Lee, Chon, & Ahn, 2014), que se emplea en los análisis de conectividad funcional, y debe ser consistente con los requerimientos de movilidad de las especies focales.

Adicionalmente, se recomienda complementar estos análisis con modelos de simulación del movimiento de fauna, especialmente de las especies focales. Estos

modelos pueden ajustarse con base en los patrones de comportamiento de cada especie (como migración, dispersión o territorialidad) y variables del entorno, como la topografía y la cobertura del suelo, lo que permite una mejor predicción de las rutas efectivas y una ubicación más precisa de los pasos de fauna.

En términos generales, se deben implementar pasos de fauna en los tramos viales en los que la infraestructura corta corredores de conectividad funcional de nivel local y/o regional, y en los que se identifica la posibilidad de restablecer corredores de conectividad funcional entre otros corredores existentes y/o entre fragmentos de ecosistemas naturales, a ambos lados de la infraestructura vial.

Con respecto a las condiciones topográficas y de cobertura del suelo, si bien se debe hacer un análisis de los hábitos y requerimientos de movilidad de las especies focales, en general se deberían priorizar las siguientes áreas:

- Cauces permanentes o estacionales, y sus rondas de protección.
- Remanentes puntuales de conectividad para el caso de la infraestructura vial ya construida, o donde se prevea que se cortarán elementos de conectividad funcional para el caso de la infraestructura proyectada.
- Divisorias de aguas.
- Otros puntos en los que la infraestructura de transporte discurre en terraplén facilitando la construcción de pasos inferiores, o donde la infraestructura discurre por debajo de dos taludes laterales facilitando la construcción de pasos superiores.

Las estructuras deben distribuirse a lo largo del tramo de forma tal que se favorezca la permeabilidad para las especies focales y de ser posible para el mayor número de especies posible, así como el uso de diferentes tipologías de pasos de fauna en cada punto (por ejemplo, un paso para fauna terrestre ya sea superior o inferior, junto con un puente de dosel).

Se recomienda que tanto los corredores de conectividad como los fragmentos de coberturas naturales que se busca conservar o fomentar mediante los pasos de fauna, sean objeto de declaratoria como áreas de conservación.

En relación con la construcción de una doble calzada, se debe garantizar que los pasos de fauna que sean construidos tengan continuidad en la calzada ya existente mediante las obras de adecuación o mejoramiento que sean necesarias, de modo que los pasos de fauna no se vean truncados en los separadores.

6.1.3 ¿Cuántos pasos de fauna deben ser?

El número de pasos de fauna, al igual que su ubicación (que se discute en el siguiente punto), debe ser definido a partir del análisis de conectividad funcional y del análisis de los desplazamientos que realizan las especies focales.

Para los tramos de vía en los que no se interrumpen elementos de conectividad ecológica evidentes ni se genera fragmentación de ecosistemas naturales, se debe garantizar la permeabilidad de la vía para el cruce de la fauna silvestre terrestre que habita áreas transformadas aun cuando no haya coberturas boscosas cercanas, por lo cual se debe contar con al menos:

- Una estructura de paso para fauna grande (coeficiente de apertura ≥ 0.75) cada cinco kilómetros.
- Una para fauna mediana (ca ≥ 0.4) cada dos kilómetros.
- Una estructura de paso para fauna pequeña (ca ≥ 0.2) en cada kilómetro.

Es de aclarar, que las estructuras de mayor tamaño pueden ser utilizadas también por fauna pequeña y mediana siempre y cuando se agreguen elementos que les proporcionen refugio como ramas, y rocas.

Para los tramos de vía en los que el análisis de conectividad ecológica determina que se está interrumpiendo el flujo de fauna actual o potencial, el número de pasos de fauna debe ser:

- Proporcional a la magnitud de la interrupción, medida en términos del ancho del corredor afectado (o lo que es lo mismo: la longitud del tramo de interrupción).
- Consecuente con la magnitud de los fragmentos que une el corredor, como un indicador indirecto del volumen de fauna que se podría desplazar por él.

Para este caso, en lugar de solicitarse el establecimiento de un número específico de estructuras de paso de fauna por unidad de longitud, se recomienda emplear dos elementos que contribuyan a la toma de la decisión:

1. El porcentaje del tramo de interrupción de conectividad que debe ser restituido como pasos de fauna, por ejemplo, si la interrupción de conectividad mide 1.000m y le corresponde reestablecer un 5%, se deberán implementar pasos de fauna efectivos que sumen al menos 50m.
2. Un número mínimo de puntos de concentración de pasos de fauna, representados por ejemplo, por un puente de dosel y un box culvert, o por una batería de alcantarillas, siempre en función de los requerimientos de las especies focales. Este número mínimo de puntos está dado por las relaciones que se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 3: Cálculo de la sección total de pasos de fauna a construir en el tramo de conectividad afectada por el proyecto.

Características de la conectividad afectada por el proyecto.	Porcentaje de la longitud del tramo de corredor afectado, que debe restituirse en pasos de fauna.	Número mínimo de puntos con estructuras de pasos de fauna.
Conectividad entre fragmentos de ecosistemas y/o coberturas naturales aisladas con áreas de menos de 1km ²	5,0%	2
Conectividad entre fragmentos con áreas de 1 a 5 km ²	7,5%	3
Conectividad entre fragmentos de ecosistemas y/o coberturas naturales con áreas de 5 a 10 km ²	10,0%	4
Conectividad entre coberturas naturales continuas de más de 10 km ² , entre áreas protegidas del SINAP, entre áreas identificadas en portafolios de conservación, y/o en los corredores de conectividad regional definidos por el Sinchi.	15,0%	5

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior permite hacer una estimación inicial de la magnitud de las estructuras de pasos de fauna que se deberán construir en los tramos que afecten de forma directa o indirecta la conectividad entre ecosistemas naturales, permitiendo que desde la etapa de diseño se calculen las obras requeridas, por ejemplo:

Tabla 4: Ejemplo del cálculo del número mínimo de pasos de fauna a establecer en tramos viales que cortan elementos de conectividad ecológica.

Características de la conectividad afectada por el proyecto	Longitud de la superposición de la vía y el ecosistema natural	Longitud a restituir en pasos de fauna (sumatoria del ancho efectivo de los pasos de fauna)	Número mínimo de pasos de fauna	Ejemplo de posibles arreglos
Fragmento aislado de menos de 1 km ²	500 km	500m * 5% = 25m	2	Opción 1: 2 puentes de 12,5m cada uno.

Características de la conectividad afectada por el proyecto	Longitud de la superposición de la vía y el ecosistema natural	Longitud a restituir en pasos de fauna (sumatoria del ancho efectivo de los pasos de fauna)	Número mínimo de pasos de fauna	Ejemplo de posibles arreglos
				Opción 2: 1 pontón de 10m, 2 Box de 6m y 3 pasos arbóreos de 1m.
Corredores de conectividad regional definidos por Sinchi	1 km	$1 \text{ km} * 15\% = 150\text{m}$	5	Opción 1: 1 puente de 40m, 4 pontones de 20m de ancho, 5 box de 5m y 10 pasos arbóreos de 0,5m
	10 km	$10 \text{ km} * 15\% = 1,5\text{km}$	5	Opción 1: 5 viaductos de 200m, 4 puentes de 50m, 20 box de 10m, 40 alcantarillas de 2m y 20 pasos arbóreos de 1m.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado que se obtenga de la tabla anterior debe ser analizado a la luz de la permeabilidad de cada vía, evaluada en función del TPD (tráfico promedio diario) y de la velocidad de circulación, bajo la lógica que, a menor permeabilidad, mayor demanda de estructuras de paso de fauna, y viceversa. Por ejemplo, para el caso de carreteras de segundo y tercer orden con TPD inferiores a 288, se podría reducir la exigencia de pasos de fauna, teniendo en cuenta su alta permeabilidad, a menos que para dicha vía se prevea un aumento del TPD.

El área efectiva de los pasos de fauna se refiere al área que puede ser utilizada por la fauna durante al menos tres cuartas partes del año en las áreas inundables y al 100% del año en las áreas no inundables. Por ejemplo, en un puente de 100m de luz, en el que el cálculo del periodo de retorno indica que en el punto máximo de inundación el cauce alcanzará 95m de ancho, el área efectiva como paso de fauna será solo de 5m. Para el caso de las alcantarillas redondas. El área efectiva será igual al radio de la circunferencia (la cuerda que corresponde a un sector de 60° de circunferencia).

Por último, se debe tener en cuenta que en tramos de vía con condiciones homogéneas en cuanto a conectividad funcional para fauna, la conectividad aumenta cuando hay un mayor número de estructuras de pasos de fauna aun cuando estas sean de tamaño mediano como por ejemplo box culvert o pontón, en

contraste a la opción de establecer o adecuar una o unas pocas estructuras de mayores dimensiones (Karlson, 2015).

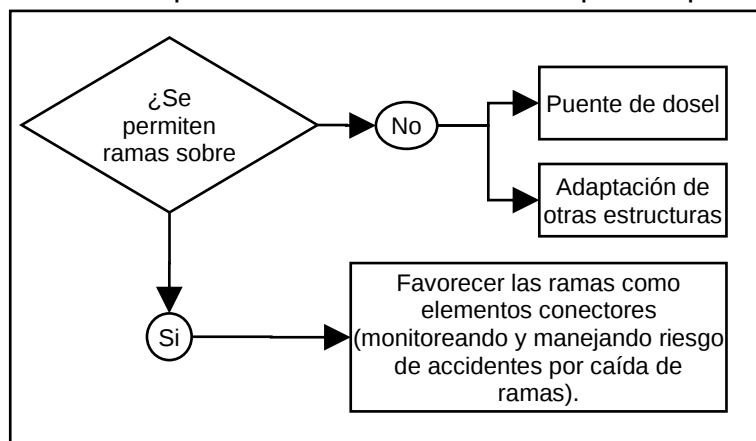
6.1.4 ¿Qué tipos (tipología general) de pasos de fauna se deben implementar?

La tipología de los pasos de fauna debe responder a las necesidades identificadas en los análisis de conectividad funcional y de identificación de requisitos de movilidad de las especies focales. A continuación se presentan las tipologías generales de pasos de fauna

6.1.4.1 Pasos de fauna para especies arborícolas.

Los pasos arbóreos son utilizados por primates entre otros grupos de mamíferos que discurren por el dosel y las ramas de los árboles. En los casos en que las consideraciones de seguridad eliminan la posibilidad de tener árboles con ramas por encima de la vía (carreteras primarias) que permitan mantener la conectividad sobre las rutas de desplazamiento identificadas, se requiere sustituir dichas ramas con puentes de dosel que podrían ser desde cuerdas o guayas (para perezosos) o puentes de cuerdas (para primates, marsupiales, ardillas), hasta estructuras rígidas como ramas artificiales o las estructuras de las señales elevadas del tipo “Pasavías” (Ministerio de Transporte, 2004).

Figura 5: Definición del tipo de estructura a construir, para especies arborícolas.



Fuente: Elaboración propia.

En los casos en que la normativa y las consideraciones de seguridad vial permitan la permanencia de ramas por encima de la vía, se deberá fomentar dicha opción de conectividad, manteniendo un monitoreo periódico del estado fitosanitario de los árboles y de las ramas, de modo que se eviten accidentes por caídas de los mismos.

6.1.4.2 Pasos de fauna para especies terrestres.

Los pasos para especies terrestres favorecen el flujo o movimiento de especies de aves, mamíferos, anfibios y reptiles. Para el caso de las aves insectívoras de sotobosque cuya movilidad está limitada al interior de la cobertura arbórea, los pasos terrestres deberán contar con una muy buena iluminación natural y con la presencia continua de arbustos, razones por las cuales las opciones de pasos de fauna se limitan ya sea a pasos superiores (desde puentes hasta ecoductos), o a pasos inferiores conformados por pontones, puentes y/o viaductos.

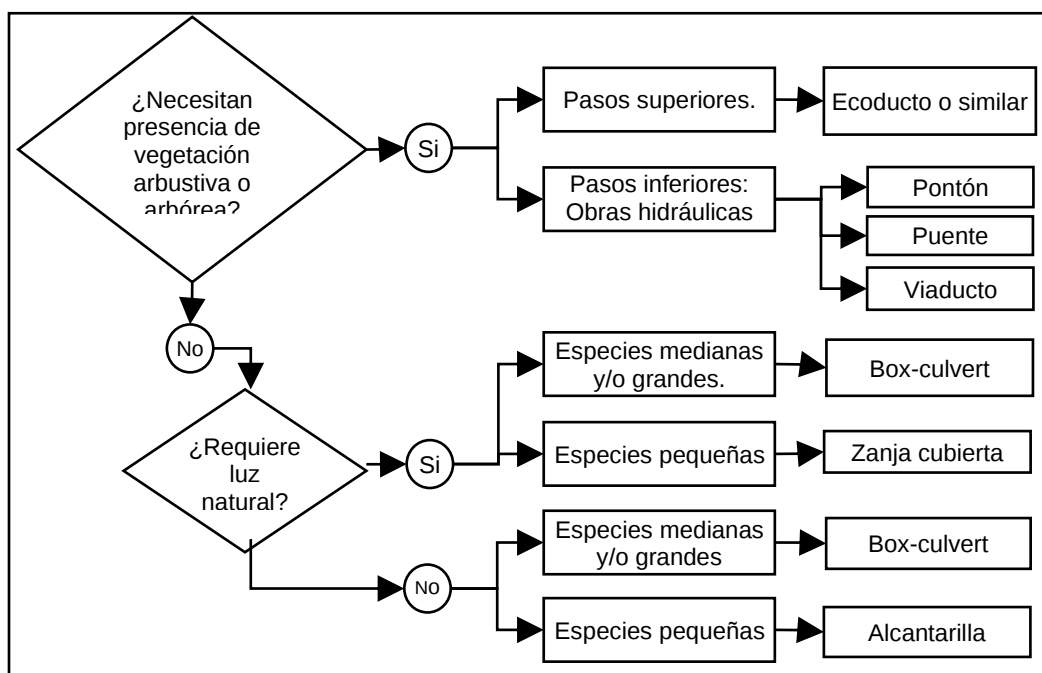


Figura 6: Definición del tipo de estructura a construir, para especies terrestres y aves.

Fuente: Elaboración propia.

También se pueden utilizar estructuras tipo box-culvert (alcantarillas de sección rectangular), o alcantarillas más pequeñas, siempre y cuando garanticen la disponibilidad de un paso seco y seguro durante todo el año. Estas estructuras son muy utilizadas como soluciones para el cruce de cuerpos de agua permanentes o estacionales, y en algunos casos se podrían adaptar las estructuras ya existentes, por ejemplo, generando pasarelas seguras cuando la estructura está sobredimensionada con respecto al caudal del cuerpo de agua.

Para grupos faunísticos con especies de menor tamaño como artrópodos (v. g. cangrejos), anfibios, reptiles o pequeños mamíferos, se pueden utilizar alcantarillas superficiales protegidas en su parte superior con rejas removibles, teniendo en

consideración que por estas estructuras no debe circular agua en ningún momento, por lo que no pueden estar ubicadas en depresiones, y serían más adecuadas en áreas altas como divisorias de aguas, o terraplenes.

6.1.4.2.1 Índice de apertura

Teniendo en cuenta que los hábitos de movilidad de la fauna silvestre determinan su disposición a utilizar un paso de fauna, se ha desarrollado el concepto de índice o coeficiente de apertura (Donaldson, 2005) (Mata Estacio, 2007), que resulta de dividir el área de sección de la estructura, por su longitud (de entrada, a salida). El índice de apertura (IA), o coeficiente de apertura (CA) es entonces un indicador de la amplitud relativa de un paso de fauna inferior (excluyendo las zanjas superficiales), y se infiere que mientras mayor sea su valor, mayor será la capacidad de la estructura para actuar como un paso de fauna multiespecie, que incluya especies de mayor tamaño y/o grupo de individuos (para el caso colombiano, el ejemplo de un grupo de animales de tamaño mediano o grande sería una piara de pecaríes).

Es necesario aclarar que si bien el índice de apertura es un indicador útil para evaluar los diseños de pasos de fauna, no debe tomarse de forma aislada, ya que debe acompañarse del análisis de otras características de la estructura, tales como la sección del paso que permanece seco durante todo el año (o al menos durante la mayoría del año para el caso de bosques inundables), las condiciones de las áreas de aproximación, las condiciones de las barreras de encauzamiento, y la conectividad con corredores de conectividad funcional para las especies focales.

En términos generales, para los pasos de fauna se recomienda optar por el máximo coeficiente de apertura que se pueda obtener desde el diseño de ingeniería, manteniéndose dentro de límites razonables, es decir, evitando combinaciones como una gran altura (h) y un ancho o luz (a) muy pequeña, o viceversa.

Figura 7: Índice de apertura.



Fuente: (Mata Estacio, 2007)

La literatura disponible (Donaldson, 2005) (California Department of Transportation, 2007) (Mata Estacio, 2007), para fauna grande determina que se requiere un IA de al menos 0,75, para fauna mediana al menos 0,4 y para fauna pequeña al menos 0,2. Se hace énfasis en que la relación entre los valores del índice de apertura y los tamaños de fauna es una simplificación basada en los resultados de estudios previos, con el fin de facilitar el análisis. Claramente hay especies que responden diferente, por ejemplo, en el estudio de Mata Estacio (2007) se encontró que el erizo europeo siendo muy pequeño solo utilizó los pasos inferiores amplios, mientras que los tejones siendo mamíferos de tamaño mediano evitaron los pasos amplios.

Por ejemplo, para un box-culvert de 2,5m de alto y 3m de ancho de que atraviese una vía de calzada sencilla (7,65m de calzada + 2m de bermas = 9,65m de largo), se tendría un coeficiente de apertura de 0,78, suficiente para mamíferos medianos; pero si se emplea un box-culvert con la misma sección en una doble calzada (15,3m de las dos calzadas + 1m de separador + 2m de bermas = 18,3 m de largo), el coeficiente de apertura sería de 0,41, suficiente para fauna mediana.

Para el caso de las zanjas abiertas o alcantarillas superficiales, por ser estructuras con orificios de ventilación e iluminación en su parte superior y por estar diseñadas para organismos de tamaño muy pequeño, el índice de apertura puede ser de 0,01, que se alcanza fácilmente con una estructura de 0,5m de ancho, 0,3m de alto y 12m de largo (i. a.= 0,013).

Tabla 5: Ejemplos de cálculo del índice de apertura, para tres tipos de secciones de estructuras de paso de fauna inferior.

Para estructuras de sección rectangular					Para estructuras de sección redonda				Para estructuras de sección semicircular (media circunferencia)			
Ancho (a)	Alto (h)	Área de la sección	Largo (L)	Índice de apertura (IA)	Radio (r)	Área de la sección	Largo (L)	Índice de apertura (IA)	Radio (r)	Área de la sección	Largo (L)	Índice de apertura (IA)
a	h	=a*h	L	=(a*h)/L	R	= $\pi*r^2$	12	=($\pi*(r^2)$)/L	r	=($\pi*r^2$)/2	12	=($(\pi*(r^2)/2)$)/L
2	2	4	12	0,33	1	3,14	12	0,26	1	1,57	12	0,13
10	4	40	12	3,33	5	78,5	12	6,54	5	39,25	12	3,27

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el índice de apertura es una razón geométrica, se requiere establecer mínimos de ancho y alto para las estructuras de paso inferior, según su tipología. Esto para evitar casos en los que el IA resulte alto pero la estructura sea especialmente baja y ancha (por ejemplo, si es 0,5m de alto y 25m de ancho, con una longitud de 12 metros, el IA es 1,04), o alta y estrecha (por ejemplo, si es de 1m de ancho y 25m de alto con la misma longitud de 12 metros, el IA es de 2,08).

Tabla 6: Valores mínimos de altura, ancho e índice de apertura, para las estructuras a considerar como pasos de fauna inferiores.

Tipología del paso de fauna	Valores mínimos aceptables para un paso de fauna			Ejemplo con una calzada sencilla (7,65m de ancho más 2m de bermas)	
	Ancho/radio mínimo (m)	Altura/radio mínimo (m)	Mínimo índice de apertura (I.A.) aceptable	Longitud (m)	I.A. resultante
Puente	10	2	0,750	9,65	2,073
Pontón o Box culvert	3	2,5	0,750	9,65	0,777
Alcantarilla redonda	1,5	1,5	0,400	9,65	0,732
Alcantarilla redonda	0,9	0,9	0,250	9,65	0,264

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se estableció previamente, el índice de apertura por sí solo no garantiza las condiciones necesarias para que un paso de fauna sea efectivo, y se debe cumplir con otros requisitos, que se derivan del análisis de requerimientos de movilidad de las especies focales seleccionadas para el área. Los requisitos generales se presentan en el siguiente capítulo de esta guía.

En cuanto a las alcantarillas redondas de 0,6m de diámetro, para el caso de una vía en calzada sencilla, aún sin considerar las bermas, sólo alcanzan un índice de apertura de 1,12, que resulta insuficiente para la mayor parte de la fauna, y probablemente solo será utilizada por especies habituadas a galerías. Por esta razón, las alcantarillas de 0,6m de diámetro no son consideradas aptas como pasos de fauna para efectos de esta guía.

Tanto en puentes como en boxes y alcantarillas, en el caso de dobles calzadas, se debe evaluar la opción de eliminar la parte superior de la estructura al pasar por el separador que divide las dos calzadas, de modo que se aumente la entrada de luz natural. Esta abertura debe tener elementos que eviten que la fauna salga por ella, y elementos que eviten la entrada de sedimentos y residuos desde las calzadas.

6.1.4.3 Pasos de fauna para especies acuáticas.

El tipo de obra a implementar para el cruce de un cauce permanente o estacional está determinado principalmente por el cálculo de la sección ocupada por el caudal máximo del periodo de retorno analizado. En todo caso, se deberá garantizar que las orillas del cauce se mantengan sin alteraciones al igual que el cauce en sí

mismo, razón por la cual se favorecerá la utilización de puentes y/o pontones, o de box-culverts en lugar de alcantarillas redondas, y se debe evitar el uso de estructuras de vadeo.

Para los diseños de los pasos de fauna acuáticos, se debe tener en cuenta los resultados de los análisis hidrodinámicos para determinar el caudal máximo, así como las variaciones estacionales, la velocidad de flujo y la turbulencia del agua, para que los pasos de fauna permitan el cruce de especies acuáticas sin alterar significativamente las condiciones naturales del cauce"

Los pasos de fauna para especies acuáticas deben mantener adicionalmente la cobertura vegetal original de la ronda de protección e incluir medidas que garanticen la continuidad de la vegetación riparia, de tal manera que se promuevan procesos de restauración o mantenimiento de su estado natural, evitando se alteren las condiciones de sombrío y de aporte de material vegetal (hojas y frutos) que se tendría en condiciones naturales, de relevancia para las especies acuáticas y terrestres.

En los casos en que se interviene el cauce, se deben mantener las condiciones originales de flujo, en cuanto a velocidad y turbulencia, y se debe mantener el sustrato por ser el hábitat de organismos bentónicos.

6.2 Síntesis de la información requerida para toma de decisiones alrededor de los Sistemas de pasos de fauna.

Se presenta una serie de variables ambientales (del medio biótico) y de diseño que deben ser tenidas en cuenta en las etapas de planeación de proyectos de infraestructura vial, haciendo énfasis en la necesidad y en las ventajas de involucrar de manera temprana la información de ordenamiento territorial, los análisis de fragmentación y conectividad, y en general, lineamientos de infraestructura verde vial.

6.2.1 Inventario de obras hidráulicas, puentes y túneles

Para el caso de los proyectos en etapa de planeación, se puede recurrir a los datos de campo levantados para el diseño hidráulico, o mejor aún, a los diseños hidráulicos aun si son incipientes. Para el caso de los proyectos que se encuentran en operación, el inventario se podría extraer de las memorias de diseño, de las herramientas de planeación de acciones de mantenimiento, o en su defecto, de los recorridos de las actividades de mantenimiento.

El inventario debe proporcionar información sobre:

- Localización, características (tipología, ancho y altura (o diámetro), longitud, característica del encole y el descole), y estado de conservación de alcantarillas, box-culverts, pontones, puentes y viaductos.
- Características de los cuerpos de agua (caudal, dimensiones de la ronda de protección según Decreto 2245 de 2017, coberturas vegetales) que cruzan, con el fin de evaluar la posibilidad de adaptarlos como pasos de fauna.

6.2.2 Análisis de fragmentación y conectividad.

El objetivo es identificar tanto conectividades existentes como como conectividades potenciales que pueden ser restauradas o generadas, y para esto se propone:

- Cubrir al menos 5 km a cada lado de la vía, por ser el área en que se suelen presentar los impactos más significativos.
- Realizar análisis estructural, y análisis funcional para especies focales que presenten limitaciones a la movilidad.
- Se sugiere incluir en el análisis de conectividad funcional, el uso de modelos de ocupación-detección (Santos, Mota Ferreira, Aguiar, & Ascensao, 2018).

Los análisis de fragmentación y conectividad pueden tomar como fundamento la propuesta del Sinchi, (2018) que se basó en la propuesta del “Índice Espacial de Huella Humana” (IEHH) (Correa et al, 2017; Etter et al, 2006). El análisis de la conectividad puede considerar escenarios multiespecie (Correa Ayram et al., 2017), que se fundamenta en utilizar especies de diferentes rangos de acción con el objeto de modelar la conectividad estructural y funcional del paisaje (Correa Ayram et al., 2014; Payán et al., 2016; Rabinowitz & Zeller, 2010).

6.2.3 Monitoreo de atropellamientos de fauna silvestre.

Para obtener esta información se recurre a dos fuentes complementarias; la primera basada en los registros obtenidos mediante esquemas formales de monitoreo estandarizado que permiten comparaciones estadísticas entre ellos y la segunda en información recolectada mediante herramientas de ciencia ciudadana, que permiten obtener información complementaria sobre incidentes de atropellamiento en tramos y horarios diferentes a los que son objeto del monitoreo formal.

Este registro debe sistematizarse a partir de información estandarizada que permita comparaciones entre diferentes vías y/o entre diferentes periodos de tiempo, y la aplicación de procedimientos estadísticos para garantizar que el esfuerzo invertido en la obtención de los datos se pueda ver reflejado en conclusiones robustas.

En general los estudios orientados a evaluar la efectividad de los muestreos de fauna atropellada (Zimmermann Teixeira, Pfeifer Coelho, Beraldo Esperandio, & Kindel, 2013), (Smith & van der Ree, 2015), (Abra, Huijser, Pereira, & Ferraz, 2018) llegan a las siguientes conclusiones:

- La velocidad de desplazamiento del observador debe ser igual o inferior a 30 km/h, para poder detectar cadáveres de vertebrados pequeños.
- Registros realizados a pie o en bicicleta aportan más datos que los obtenidos en recorridos en automóvil.
- El registro debe extenderse a las bermas de la vía
- Es necesario retirar los cadáveres ya registrados.
- Los recorridos deben realizarse antes de que el personal de mantenimiento retire los cadáveres.
- Los tramos monitoreados deben incluir tramos con estructuras de paso de fauna, para evaluar su efectividad.
- El equipo de monitoreo debe incluir personal especializado para la identificación de los especímenes, teniendo en cuenta que puede resultar difícil por la condición del cadáver. Un estudio en el estado de Sao Paulo (Brasil) concluyó que el personal de mantenimiento logra hacer identificaciones correctas de las especies comunes de fauna atropellada, pero encuentra dificultades en la identificación de especies poco comunes y entre especies muy parecidas entre ellas (Abra, Huijser, Pereira, & Ferraz, 2018).
- Los monitoreos deben ser de largo plazo, ya que los puntos de mayor frecuencia de atropellamiento suelen variar en el tiempo, ya sea por cambios en la densidad poblacional de las especies, por alteraciones de las rutas de desplazamiento de la fauna, o por condiciones climáticas (Zimmermann Teixeira, Pfeifer Coelho, Beraldo Esperandio, & Kindel, 2013).

En un experimento reciente en Portugal, se utilizó un mecanismo de detección consistente en sistemas de escáner ubicados en un remolque que al ser llevado por un carro a 30km/h (Sillero, Ribeiro, Franch, Silva, & Lopes, 2018) genera imágenes digitales de la superficie de la vía e identifican la presencia de cadáveres de anfibios y su localización. Si bien su eficacia fue inferior a la alcanzada por personas haciendo el mismo recorrido en vehículos a la misma velocidad, se trata de un sistema en proceso de desarrollo.

Para el análisis de los datos de atropellamiento de fauna debe tenerse en cuenta que los puntos de mayor frecuencia de registros no necesariamente indican los

puntos donde más animales cruzan la vía (Hobday & Minstrell, 2008), ya que pueden existir puntos de cruce que por sus características (visibilidad, velocidad del tráfico, disponibilidad de estructuras para paso seguro, entre otras), sean más utilizados y no generen registros de atropellamiento. Para esto, se sugiere complementar el análisis de los datos con información espacial sobre las características de los ecosistemas circundantes, e información sobre la densidad y la velocidad del tráfico, además de mediciones de la distancia de visibilidad.

6.2.4 Papel de las herramientas de “ciencia ciudadana”.

La recolección de reportes de voluntarios en el área de influencia de proyectos viales aporta información que no se limita a los tramos viales que son objeto de monitoreo formal, ni a los horarios estrictos de los monitoreos formales, por lo que se constituye en una fuente de datos valiosa a pesar de no responder a una estructura de monitoreo formal y por lo tanto, representar dificultades a la hora de analizar los datos. Un resultado adicional de las plataformas públicas de reportes es que acerca y sensibiliza al público y a los medios de comunicación a la problemática del atropellamiento de fauna y podría llegar a generar cambios en el comportamiento de los conductores, y en algunos casos, podría llevar a los operadores viales a ser más proclives a mejorar la permeabilidad de la vía.

Una experiencia exitosa de recolección de información por medio de una herramienta de ciencia ciudadana es la aplicación Recosfa de la Red Colombiana de Seguimiento a la Fauna Atropellada, la cual simplifica en su interfaz imágenes que representan a las principales especies de individuos objeto de atropellamiento en el país para que sean fácilmente reconocidos por los usuarios de la herramienta, que no necesitan ningún grado de preparación en el reconocimiento de individuos de fauna o identificación de especies. La herramienta incluye dentro de sus funcionalidades la opción para la toma de registro fotográfico y en caso de que los restos del ejemplar atropellado no puedan reconocerse, al menos provee las coordenadas de localización del lugar en el que se produjo el incidente de atropellamiento, que junto con todos los demás datos, alimenta una base de datos que en la actualidad identifica a Recosfa como la aplicación de ciencia ciudadana con la más amplia información de atropellamiento de fauna silvestre en el país y como la que ha alcanzado el mayor grado de reconocimiento.

También como datos complementarios, se podría recolectar información de aseguradoras y autoridades policivas, sobre eventos de atropellamiento de fauna en los que los vehículos y/o sus ocupantes resultaran lesionados.

Otra herramienta es el aplicativo Sukunbun administrado por el Instituto Nacional de Vías (Invias), el cual permite identificar y hacer seguimiento a diversas especies de relevancia ecológica que se observan en las vías administradas por el Instituto. Los administradores viales diligencian la información de los avistamientos y

atropellamientos, la cual permite crear una base de datos con la información recopilada y posteriormente genera un mapa de vulnerabilidad faunística que identifica las zonas con mayor riesgo de atropellamiento.

6.2.5 Monitoreo del estado de las poblaciones de grupos con alta probabilidad de ser afectados por el efecto de barrera.

Esta información se puede obtener mediante al menos tres líneas de estudio, cada una de ellas mayores o menores dificultades dependiendo del grupo de fauna que se pretenda estudiar:

- Estudios de dinámica poblacional que mediante muestreos repetitivos permitan estimar los tamaños poblacionales y la composición etaria de los grupos.
- Métodos genéticos que permitan estimar el nivel de entrecruzamiento entre metapoblaciones a ambos lados de la infraestructura vial.
- Rastreo de individuos mediante transmisores activos como por ejemplo radiocollares, o mediante transmisores pasivos que sean leídos en estaciones ubicadas por ejemplo en los pasos de fauna.

Esta información puede obtenerse mediante diferentes metodologías de estudio que se aplican dependiendo del grupo de fauna que se pretende monitorear; algunos ejemplos son:

- Muestreos repetitivos para estimar el tamaño de las poblaciones y su estructura demográfica y etaria.
- Estudios genéticos orientados a evaluar la conectividad o intercambio genético entre las poblaciones separadas por la infraestructura vial.
- Rastreo individual de ejemplares mediante dispositivos activos como radiocollares o mediante transmisores pasivos ubicados en pasos de fauna.

Estas metodologías.

6.2.6 Evaluación de la efectividad de los pasos de fauna existentes

La evaluación de la efectividad debe ir más allá del conteo de animales que utilizan la estructura (van der Grift & van der Ree, 2015), debe incluir registro de atropellamiento de fauna en el área de influencia de la estructura, registro de animales que se acercan a la estructura y no la cruzan, y monitoreo de los tamaños poblacionales para determinar la proporción de individuos que utilizan la estructura, entre otras variables. Adicionalmente, la estructura del monitoreo debería estandarizarse para facilitar la comparación entre pasos de fauna, de modo tal que

en el mediano plazo se puedan hacer inferencias sobre las características que resultan más adecuadas para algunas especies.

Al respecto se propone:

- Elaboración y mantenimiento de un inventario nacional de pasos de fauna, a cargo de las autoridades ambientales, en el que los operadores viales reporten como mínimo: Ubicación en coordenadas Magna Sirgas Origen Único Nacional, categoría (inferior o superior), Tipología (puente dosel, alcantarilla, Box culvert, etc), Dimensiones (Altura, Longitud, Ancho), medidas complementarias (mecanismos de barrera o direccionamiento de la fauna), Especies focales, Ecosistema de emplazamiento, Fecha de puesta en operación, operador vial a cargo, sistema de monitoreo de efectividad, periodicidad del monitoreo y resultados.
- Selección de un grupo de pasos de fauna en operación, como base para un monitoreo de efectividad, orientado a ajustar las características de diseño en relación con la fauna que debería utilizarlos.

En el punto 6.4 de este documento se establecen lineamientos de monitoreo de la efectividad de los pasos de fauna.

6.3 Parámetros de diseño para los pasos de fauna silvestre

Un paso de fauna silvestre efectivo para especies terrestres debe cumplir al menos con las siguientes condiciones generales:

- Satisfacer los requerimientos de movilidad de las especies focales a las que pretende servir.
- Proporcionar un pasaje que esté disponible de forma permanente, por encima de la cota máxima de inundación (el área de paso libre para fauna terrestre es el área que se considerará como paso de fauna).
- Tanto el paso de fauna como su área de aproximación deben permanecer libres de ocupación antrópica, y no deben ser empleados como pasos de ganado o pasos peatonales.
- Ser objeto de monitoreo periódico para determinar su efectividad, que se puede medir por ejemplo en término del número de individuos y/o de especies que lo utilizan, o en términos de la reducción en el número de individuos de fauna atropellados en el tramo vial.
- Ser objeto de mantenimiento periódico para garantizar su efectividad.

- El diseño debe hacerse con el apoyo de biólogos especializados en los diferentes grupos de fauna que se pretende atender, esto para maximizar la eficiencia de la estructura (y por lo tanto, de la inversión de recursos).
- Los materiales tanto para la construcción del paso de fauna como el de estructuras complementarias, deben seleccionarse cuidadosamente con el fin de evitar aquellos que puedan ocasionar lesiones a la fauna.

Para aumentar su efectividad, los pasos de fauna deben ser tan cortos y rectos como sea posible, de modo que se facilite la visibilidad de un extremo desde el otro. Por lo tanto, se recomienda que sean perpendiculares a la carretera.

Se recomienda que la totalidad del paso de fauna mantenga las características de hábitat que requieren las especies para su desplazamiento, por ejemplo, para el caso de ecoductos, viaductos, puentes y pontones, se deben agregar estructuras como hileras de piedras o ramas que provean cobijo para especies pequeñas. Para el caso de Box culverts y alcantarillas, se sugiere que el sustrato para el desplazamiento de los animales esté cubierto por tierra en lugar de concreto limpio.

Con respecto al acondicionamiento de las zonas de aproximación a los pasos de fauna, se establecen las siguientes condiciones generales:

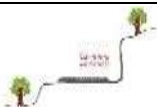
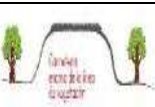
- En términos generales, el área de aproximación debe tener una cobertura similar a la de los ecosistemas que se busca conectar y debe responder a los requerimientos de movilidad de las especies focales, de modo que en las rutas de conectividad que se planteen se minimicen los cambios de cobertura, favoreciendo así su utilización por parte de la fauna silvestre. Adicionalmente estas zonas de aproximación deben contar con barreras que bloqueen el paso de la fauna hacia el corredor vial (estas se detallan en la ficha 10), y en el caso de vías de alto flujo vehicular, se debe evaluar la necesidad de agregar barreras de ruido y/o de iluminación.
- Evitar árboles que produzcan grandes cantidades de frutas, y/o que las produzcan durante largo tiempo (deben atraer para el paso y no para convertirse en sitio de residencia).
- Agregar elementos como piedras y ramas que favorezcan la presencia de especies de tamaño pequeño.
- En áreas de baja pluviosidad y en el caso de pasos orientados a anfibios, incluir charcas que les permitan mantener la humedad de su piel, y que al mismo tiempo funcionarían como abrevaderos para fauna de mayor tamaño. Además, se debe evitar el uso de mallas galvanizadas.

Es de aclarar que en este documento no se busca llegar a definir las condiciones específicas de plantación, ni un listado de especies vegetales a promover, para esto

se debe partir de los resultados del análisis de cada área desde la conectividad funcional para la fauna, desde los lineamientos de la política nacional de restauración y lineamientos que para ello establezcan las autoridades ambientales, desde los lineamientos del punto “8.3.6 Plantaciones” del Manual de diseño geométrico de carreteras (Instituto Nacional de Vías - Invia, 2008), y desde las consideraciones de seguridad tanto para la estructura vial como para sus usuarios.

Las condiciones topográficas condicionan las tipologías a emplear, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7: Condiciones topográficas en las que se viabilizan las diferentes tipologías de pasos de fauna terrestre.

Tipologías						
Puente de dosel	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Ecoducto	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Viaducto	No	Si	Si	Si	Si	Si
Puente o pontón	No	Si	Si	Si	Si	Si
Box culvert	No	No	No	Si	Si	Si
Alcantarilla	No	No	No	Si	Si	Si
Zanja abierta	No	No	No	Si	Si	Si

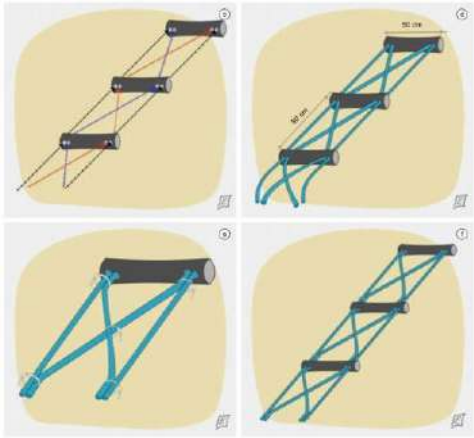
Fuente: Elaboración propia

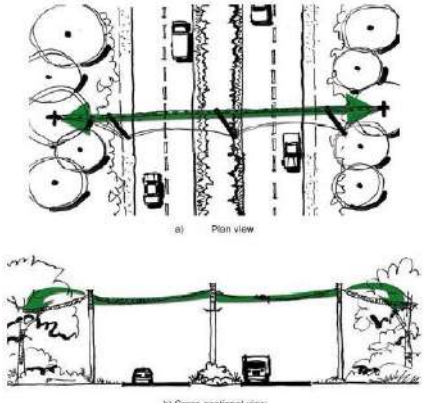
A continuación, se describen, mediante fichas técnicas, las condiciones específicas para cada una de las tipologías definidas en el capítulo anterior, y se incluyen fichas específicas para las condiciones requeridas para las zonas de aproximación, para las barreras de encauzamiento y para las estrategias de monitoreo.

Para ejemplificar los costos de las estructuras de paso de fauna, se realizaron cálculos de costos de construcción calculando costos de obra y presupuesto para cada tipología y para las estructuras de barrera. En los casos en que es aplicable, se incluye una comparación entre los costos en proyectos de construcción y los costos en casos hipotéticos de mejoramiento de las estructuras. Es de aclarar que los ejemplos que se presentan a continuación se basan en la información actualizada de precios unitarios de Invia para la Dirección Territorial Caquetá, que cubre las vías de la Amazonia, y están enmarcados en el caso de una vía primaria de calzada sencilla bidireccional de dos carriles, con 7,30 m de ancho de calzada, 20 m de faja de retiro y 60 m de derecho de vía, tal como se establece en la Ley 1228 de 2008.

Ficha 1. Puente de dosel

Ficha 01: Paso superior mediante puente de dosel	
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna terrestre arborícola, incluyendo primates, perezosos, marsupiales, erizos, y ardillas, entre otros.	
Generalidades: Estructura que cruza la vía haciendo las veces de ramas que conectan dos lados de una barrera, generando permeabilidad para la fauna arbórea. Mientras sea posible, se debe mantener como primera opción el favorecimiento de árboles a cada lado de la vía (túnel verde), cuyas ramas se entrecrucen formando un dosel de conectividad natural (Balbuena, Alonso, Panta, García, & Gregory, 2019), que además de proveer paso para la fauna arbórea, reduce el efecto de borde generado por la vía (Goosem, y otros, 2010) (Gregory, Charrasco-Rueda, Alonso, Kolowski, & Deichmann, 2017). Sin embargo, se deben tener en cuenta los riesgos que implican las ramas por encima de la vía, que podrían caer generando riesgo de accidentes de tránsito. Adicional al tablero del puente, debe contar con una cuerda o cable para permitir el paso de fauna que se desplaza colgando de las ramas. Esta cuerda o cable además dificulta la depredación por parte de aves rapaces. En las estructuras de soporte localizadas en el derecho de vía, se deben agregar elementos para evitar el acceso de personas que escalen al tablero.	
Condicionantes topográficas Aunque se hace más simple en terreno plano, esta tipología es aplicable en todas las condiciones topográficas contempladas, variando únicamente la altura de los soportes y en menor medida la pendiente de la superficie de paso.	
Estructura tipo	
Figura 8: Estructura tipo – Puente de dosel 	Figura 9: Detalle de estructura tipo – Puente de dosel 

Fuente: Elaboración propia.	Fuente: Elaboración propia.
Requisitos mínimos de diseño: • Dimensiones: - Gálibo $\geq 5\text{m}$, igual al establecido para puentes peatonales. - Ancho del tablero $\geq 0,3\text{m}$. (en vías terciarias se puede sustituir por una cuerda de entre 2,5 y 10 cm de diámetro). - Cuerda superior (para paso de perezosos), con diámetro entre 4 y 10 cm. - Debe soportar, además del peso de la estructura, y las cargas generadas por el viento, el peso de los individuos que podrían utilizarla de forma simultánea. Por ejemplo, en el caso del mono araña (Ateles belzebuth) donde un individuo llega a pesar 12kg y se han reportado grupos de hasta 100 individuos (Nowak & Paradiso, 1983), se debe tener en cuenta un total de 1.200 kg de fauna sobre el puente. - La superficie de paso puede ser de cuerdas entrecruzadas, malla, o cuerdas perpendiculares a las exteriores, o puede cubrirse con un tablero rígido o semirígido. La elección del tipo de superficie dependerá del análisis de requerimientos de movilidad de las especies que podrían utilizar la estructura. • La superficie de paso: - Tanto el tablero como las cuerdas deben tener alto coeficiente de fricción y deben estar constituidos por materiales con bajo coeficiente térmico e ignífugos. - Los elementos que constituyen estas estructuras deben tener fijos los puntos de enlace (nodos de la retícula) para evitar que sus movimientos atrapen extremidades de los animales.	Otras características para tener en cuenta: - Generalmente es una estructura liviana soportada en cables y con tablero rígido o en malla, pero puede ser reemplazada por estructuras rígidas como señales elevadas del tipo “pasavías”. - En caso de que la estructura cuente con un apoyo en el separador de la vía, se deberá incluir una medida para evitar que la fauna pueda bajar al separador ya que se generaría riesgo de atropellamiento. - Se puede agregar una estructura que haga las veces de techo (continua, o no) para protección ante depredadores, sin embargo, para esta opción se debe tener en cuenta la altura máxima (en posición de desplazamiento) de la fauna que utilizaría la estructura. - Para reducir el vaivén de la estructura por el aire desplazado por grandes vehículos, se debe considerar, entre otras opciones, aumentar el gálibo. Figura 10: Ejemplo de superficie con cuerdas entrelazadas.  Fuente: (Zimmermann Teixeira, Pfeifer Coelho, Beraldo Esperandio, & Kindel, 2013).

- Los tableros constituidos por cuerdas deben contar con elementos rígidos espaciados para mantener la distancia entre las cuerdas exteriores. El espacio entre estos elementos rígidos dependerá del análisis de los limitantes de la fauna local. Estos elementos rígidos deben estar anclados para evitar que giren sobre su eje. • Conectividad con las áreas de aproximación: - Debe contar con estructuras de conexión del paso de fauna, con las áreas de cobertura arbórea por fuera del derecho de vía. Pueden ser desde simplemente cuerdas, hasta puentes de tablero rígido, dependiendo del análisis de requerimientos de movilidad para las especies focales. - Debe incluir estructuras de barrera o encauzamiento que limiten el acceso de la fauna al corredor vial. • Otros requisitos: - Debe garantizar condiciones de seguridad para el tránsito, bajo lineamientos del Ministerio de Transporte para estructuras en el derecho de vía, ya sea como señales tipo pasavías, o como puentes peatonales. - Debe minimizar el movimiento de la estructura por efecto del viento o por movimientos de la fauna que la utiliza. - Los postes de la estructura no deben tener luminarias ni cableado eléctrico. Esto, para evitar riesgos de electrocución, daños a las luminarias, y/o alteración del comportamiento de la fauna por la iluminación nocturna. - Los elementos para evitar que personas escalen en las estructuras de soporte, deben ubicarse a una altura entre 3,5 y 4,5m.	- Enriquecer con vegetación, para lo cual se puede favorecer el crecimiento (controlado) de enredaderas de especies nativas de la región. Esto proporcionaría sombra y protección contra posibles depredadores. - Agregar estaciones de descanso (sin fuente de alimento evitar que se convierta en sitio de residencia), en pasos especialmente largos como los de las dobles calzadas. Figura 11: Esquema de paso de fauna sobre doble calzada, según el Departamento de Transporte de Queensland, Australia.  a) Plan view b) Cross-sectional view Fuente: (Department of Transport and Main Roads, 2010).
---	--

- Cuando se implementen varios puentes de dosel en un mismo tramo, deberán estar separados al menos por 50m para reducir la probabilidad de comportamientos agresivos entre tropas de primates.	
Figura 12: Estructura tipo puente colgante con tablero rígido y cuerda superior.  Fuente: Darío Correa	Figura 13: Cuerdas conectando un puente de dosel a los árboles cercanos por fuera del derecho de vía.  Fuente:
Figura 14: Cobertura arbórea con dosel continuo por encima de la vía.  Fuente: Darío Correa	Figura 15: Señal tipo pasavías, adecuada con un tablero rígido.  Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011)
Requisitos mínimos de mantenimiento - Verificación periódica de los elementos de soporte (cuerdas, guayas, tablero, etc.), y recambio preventivo. - Verificación periódica de la conectividad (continuidad de caminos por las ramas) entre el ecosistema natural y la estructura.	Alternativas para la adecuación de estructuras existentes: - Adaptar estructuras como las señales elevadas del tipo pasavías, reforzándolas y creando una pasarela adecuada. - En pasos inferiores de fauna terrestre se pueden agregar cuerdas o ramas para generar pasos para fauna

		arborícola. Estos elementos no deben estar unidos a la estructura del tablero para evitar el acceso de los animales al mismo.
Costo de construcción: Las especificaciones del ejemplo son: Luz de 25m y gálibo de 5,5m; sobre postes de concreto a cada lado de la vía (por fuera de la faja de retiro), tablero rígido continuo sobre guaya metálica (igual que los tensores), 100m de guaya de 2cm, para soporte del tablero (50m) y para los tirantes de anclaje (50m). pernos de amarre. 100m de cuerda, sogá o manila de 2,5cm para paso de perezosos (30m) y para accesos desde árboles cercanos (70m). 10m ² de tablero en madera plástica (unidades de 2m de largo x 0,5m de ancho).		Bibliografía recomendada: -Balbuena, D. Alonso, A., Panta, M, García, A, Gregory, T. 2019. Mitigating tropical forest fragmentation with natural and semi-artificial canopy bridges. Diversity. 11(66): 1-12. -Gregory, T., Carrasco, F., Alonso, A., Kolowski, J., Deichmann, L. 2017. Natural canopy bridges effectively mitigate tropical forest fragmentation for arboreal mammals. Scientific Reports. 7(3892): 1-11. -Weston, N., Goosem, M., Marsh, H., Cohen, M., Wilson, R. 2011. Using canopy bridges to link habitat for arboreal mammals: Successful trials in the wet tropics of Queensland. Australian mammalogy. 33: 93-105. -Zimmerman, F., Cambara, R., Godoy, C., Chein, A., Kindel, A. 2013. Canopy bridges as road overpasses for wildlife in urban fragmented landscapes. Biota Neotropical. 13: 117-123.
Unidad	Metro lineal (m)	
Cantidad	1 puente de 25m de largo	
Precio unitario (costo directo, por metro lineal)	\$ 883.399	
Valor total (costo directo)	\$ 22.084.975	

Ficha 2. Paso superior: Ecoducto.

Ficha 02: Ecoductos
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna terrestre en general. Generalidades: • Estructura que cruza la vía por encima, mediante una estructura del tipo “falso túnel”, para el paso seguro de fauna terrestre, pero que por la presencia de vegetación arbustiva y en algunos casos, arbórea, puede ser utilizado también por fauna arborícola y aves. • Cuenta con vegetación en la superficie de desplazamiento, que da continuidad a la cobertura vegetal a ambos lados de la vía. Esta vegetación puede ir desde hierbas y pequeños arbustos hasta árboles, dependiendo de los requerimientos de movilidad de las especies focales y de las dimensiones de la estructura. • Puede estar adosado, o integrado con pasos para peatones y/o vehículos, manteniendo barreras de separación entre el área dedicada a la fauna y el área peatonal-vehicular. • Para efectos de esta guía, en la tipología “Ecoducto” confluyen, entre otras, las prescripciones técnicas dadas en el documento análogo del gobierno español (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - España, 2015) para las categorías de ecoducto (ancho $\geq 80\text{m}$), paso superior específico para fauna (ancho de 20 a 80m), y paso superior multifuncional (ancho de 20 a 50m, e incluye calzada vehicular o peatonal), cuyas diferencias se centran en el ancho de la estructura y en si el uso se destina sólo a paso de fauna o si se combina con paso de personas y/o vehículos. • La superficie por encima de los túneles “verdaderos” puede ser considerada como paso de fauna siempre y cuando genere conectividad mediante pendientes inferiores al 45%. En este caso se aceptan pendientes superiores al 30% por tratarse de superficies naturales no intervenidas, que pueden haber sido empleadas previamente por la fauna local). • Tipología constructiva: Falso túnel, bóveda y otras tipologías empleadas para la construcción de puentes. • Para su construcción, se puede emplear material de excavación generado en cortes de la construcción de la vía, reduciendo así la necesidad de áreas de depósito junto con los costos y los impactos ambientales asociados. Condicionantes topográficas Se hace más simple cuando la vía discurre por debajo de los dos taludes, y si bien es viable en todas las condiciones topográficas contempladas, resulta más costosa en la condición de vía en terraplén puesto que exige mayores movimientos de tierras.

Figura 16: Estructura tipo - Ecoducto



Fuente: Elaboración propia.

Requisitos mínimos de diseño:

- Dimensiones:
 - Debe cumplir con las especificaciones del Invias para pasos a desnivel, puentes y/o túneles establecidas en documentos como el Manual de diseño geométrico de carreteras (Instituto Nacional de Vías - Invias, 2008), en cuanto a gálibo, ancho de la calzada inferior con sus bermas, señalización, y demás consideraciones de diseño civil.
 - Pendiente de los accesos, inferior al 30%.
 - Al menos 20m de ancho cuando las coberturas a conectar son arbóreas, o 10m cuando se trata de coberturas arbustivas o de herbazales. En este ancho se deben mantener franjas laterales de

Otras características para tener en cuenta:

- Las estructuras con el centro ligeramente más alto que los extremos facilitan la localización del paso por parte de la fauna.
- En la superficie de paso se pueden agregar elementos como pocetas con agua que simulen charcas para facilitar el paso de anfibios, y elementos como ramas y montones de piedras que proporcionen refugio a la fauna de menor tamaño.
- Mientras se obtiene una cobertura arbórea en la superficie, se pueden agregar estructuras para conformar puentes de dosel.
- Se recomienda que los accesos sean más anchos que la estructura de paso, para facilitar la canalización de la fauna.

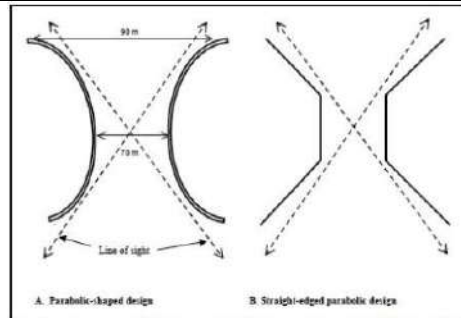
Figura 17: Opciones de diseño que aumentan el ancho del área de aproximación a la estructura de paso.

seguridad de 2m de ancho (a cada lado) en suelo desnudo o gravilla que demarquen los márgenes de la estructura, y en las que se deben instalar barreras semiopacas para limitar tanto la visibilidad en los dos sentidos, como el ingreso del ruido y la luz del tráfico.

- Si se trata de una estructura de uso mixto (paso de fauna y paso vehicular), se requieren al menos 15m de ancho para el paso de fauna y una separación física, visual y auditiva establecida mediante una barrera opaca y continua de al menos 3,5m de altura, dejando al menos 2m entre la barrera y la cobertura arbórea.

- La superficie de paso:

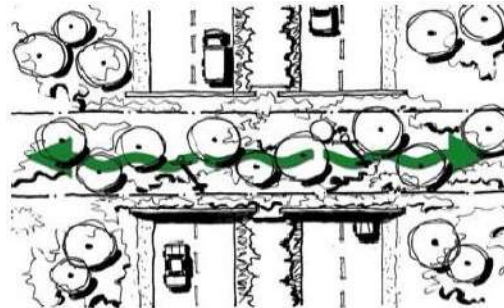
- La vegetación debe ser similar a la de las áreas que se pretende conectar.
- El sustrato debe ser adecuado (contenido orgánico, granulometría, profundidad, etc.) para el enraizamiento de la vegetación deseada, y en todo caso se debe reducir su profundidad al acercarse a los bordes, para limitar el crecimiento arbóreo. Los lineamientos españoles recomiendan 0,3m para herbáceas, 0,6m para arbustos, y 1,5m para árboles.
- El material de suelo a emplear debe provenir preferiblemente de áreas cercanas para garantizar que el banco de semillas y las micorrizas favorezcan en crecimiento de vegetación nativa de la región.



Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011)

- Siembra y mantenimiento de la vegetación deseada, evitando especies que produzcan grandes cantidades de frutas, y/o que las produzcan durante largo tiempo.
- Uso de tierra proveniente de áreas aledañas para aprovechar el banco de semillas y minimizar el riesgo de introducción de especies foráneas.
- Sistema de riego al menos para la fase inicial de establecimiento de la vegetación.

Figura 18: Esquema de adecuación de la cobertura arbórea sobre un ecoducto.



Fuente: (Department of Transport and Main Roads, 2010)

- Control del drenaje, permitiendo la evacuación del agua superficial, evitando procesos erosivos y protegiendo la estructura de soporte mediante capas aislantes. • Conectividad con las áreas de aproximación: - Debe mantener continuidad entre las coberturas del suelo que se busca conectar, para lo cual se deben adelantar programas de restauración o enriquecimiento con especies nativas de la región. - Se puede tener en cuenta el Anexo 8. <i>“Guías Técnicas para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas Colombianos”</i> del documento <i>“Plan Nacional de Restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas se establecen los atributos para tener en cuenta en la selección de especies en la restauración”</i>. - Los accesos deben ser al menos tan anchos como la estructura de paso. - Debe incluir estructuras de barrera o encauzamiento que limiten el acceso de la fauna al corredor vial.	
Figura 19: Ecoducto “Ecolink”, en Singapur, conecta dos áreas protegidas (Bukit Timah Nature Reserve, y Central Catchment Nature Reserve) pasando sobre la autopista Bikit Timah. Tiene una longitud de 62m y un ancho de 50m en el punto más estrecho	Figura 20: Túnel vial generando un paso de fauna superior con cobertura arbórea continua.

 Fuente: https://www.thefinder.com.sg/healthy-living/ask-the-experts/what-eco-link-bke-and-why-it-important/, consultado el 3 de abril de 2020	 Fuente: Darío Correa
Figura 21: Ecoducto para paso de la migración periódica de cangrejos entre el bosque y el mar, en Christmas Island (Australia)  Fuente: https://insh.world/nature/the-christmas-island-miracle-the-migration-of-the-bright-red-crab/, consultado el 5 de abril de 2020.	Figura 22: Ecoducto en la ruta 101 en Misiones, Argentina.  Fuente: https://www.argentinaforestal.com/2020/03/23/ciencia-en-accion-por-los-bosques-diego-varela-junto-al-equipo-de-investigadores-del-ceiba-aportan-conocimientos-estrategicos-para-la-conservacion-de-la-biodiversidad-del-bosque-atlantico/, consultado el 5 de abril de 2020.
Requisitos mínimos de mantenimiento - Riego de la vegetación durante los primeros años, para favorecer el establecimiento de las plantas sembradas y la germinación del banco de semillas. - Podas periódicas para garantizar ausencia de	Alternativas para la adecuación de estructuras existentes: - Adecuación, o adición de estructuras adosadas, de puentes de carreteras secundarias o terciarias que cruzan vías primarias. - Arborización de la parte superior de túneles existentes, y establecimiento de barreras de encauzamiento, para adecuarlos como pasos de fauna

obstáculos importantes, y para evitar el crecimiento hacia las áreas laterales de seguridad. - Inspección y mantenimiento periódico de las condiciones de la cobertura vegetal y del drenaje de la superficie de paso. - Inspección y mantenimiento periódico del drenaje y de las barreras perimetrales.									
Costo de construcción: Las especificaciones del ejemplo son: Falso túnel de 20m de ancho en terreno plano, con capacidad para soportar árboles en una franja central de 10m de ancho (incluye consideraciones de resistencia, manejo de aguas, resistencia a las raíces), y barreras laterales de seguridad semiopacas. <table border="1" data-bbox="488 905 1133 1171"> <tr> <td>Unidad</td><td>Unidad (obra completa)</td></tr> <tr> <td>Cantidad</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Precio unitario (costo directo)</td><td>\$ 1.008.388.685</td></tr> <tr> <td>Valor total (costo directo)</td><td>\$ 1.008.388.685</td></tr> </table> -		Unidad	Unidad (obra completa)	Cantidad	1	Precio unitario (costo directo)	\$ 1.008.388.685	Valor total (costo directo)	\$ 1.008.388.685
Unidad	Unidad (obra completa)								
Cantidad	1								
Precio unitario (costo directo)	\$ 1.008.388.685								
Valor total (costo directo)	\$ 1.008.388.685								

Ficha 3. Paso inferior: Viaductos

Ficha 03: Paso inferior mediante Viaducto
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna terrestre en general y fauna acuática cuando se cruzan cuerpos de agua evitando o minimizando su intervención (revisar los requisitos para pasos de fauna acuática).
Generalidades: -Son puentes con más de 2 puntos de apoyo, y como pasos inferiores de fauna sirven para todo tipo de especies de fauna silvestre mientras sean suficientemente amplios. -Permiten mantener hábitats poco alterados en la superficie por debajo de ellos, albergando hasta coberturas arbóreas cuando el gálibo es suficiente. -Es la alternativa de mayor eficiencia como paso de fauna inferior, y reemplaza a la construcción de terraplenes con pasos inferiores (boxes o alcantarillas) espaciados entre sí. -Los viaductos de grandes dimensiones podrían albergar, además del paso de fauna, una franja para circulación de vehículos, en cuyo caso deberá contar una barrera de al menos 2,5m de altura (ver especificaciones para barreras, en la Ficha 10) entre los dos servicios, y la calzada vehicular debería situarse próxima a uno de los estribos. -
Condicionantes topográficas Es aplicable en todas las condiciones topográficas contempladas, con excepción de la condición en la cual la vía se encuentra por debajo de los dos taludes circundantes.
Figura 23: Estructura tipo – Viaducto



Fuente: Elaboración propia.

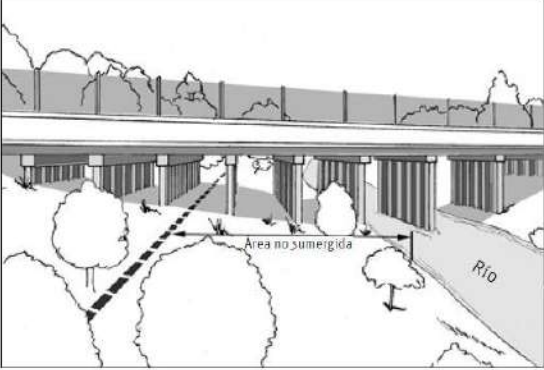
Requisitos mínimos de diseño:

- Dimensiones:
 - El área destinada a paso de fauna debe tener al menos 5m de ancho libre entre estructuras de apoyo, y al menos 3m de gálibo.
- La superficie de paso:
 - El sustrato debe ser como el de las áreas que se pretende conectar.
 - El sustrato debe ser adecuado (contenido orgánico, granulometría, profundidad, etc.) para el enraizamiento de la vegetación deseada.
 - El material de suelo a emplear debe provenir de áreas cercanas para garantizar que el banco de semillas y las micorrizas favorezcan el crecimiento de vegetación nativa de la región.
 - Incluir elementos como ramas o amontonamientos de piedras para proveer refugio para la fauna de menor tamaño. Mientras sea compatible con la seguridad del

Otras características para tener en cuenta:

- Si el viaducto no cruza un cuerpo de agua, se deben incluir elementos como charcas de agua para anfibios.
- En caso de no tener cobertura arbórea, se debe considerar la opción de incluir un puente de dosel adaptado a las condiciones del viaducto (por ejemplo, puede requerir reducción del gálibo).
- En estructuras donde se prevean (o registren) eventos de colisión de aves con vehículos, se deberán instalar elementos que aumenten la altura de las barandas externas aumentando su visibilidad.

Figura 24: Esquema de áreas bajo un viaducto

diseño de la estructura, debe favorecerse la presencia de vegetación arbustiva y arbórea. - Restauración de las áreas destinadas al paso de fauna que hayan sido intervenidas previamente, como por ejemplo las vías de servicio utilizadas para la construcción de las pilas o soportes. • Conectividad con las áreas de aproximación: - Debe incluir estructuras de barrera o encauzamiento que limiten el acceso de la fauna al corredor vial. • Otros requisitos: - Evitar o minimizar, durante la etapa constructiva, la intervención de la vegetación, el sustrato y el cauce.	 Fuente: (Quintero J. D., 2016). - Evitar el paso de vehículos por debajo del viaducto, o utilizar barreras físicas para separar las áreas de corredor vial de las áreas de paso de fauna.
Figura 25: Viaducto alto en el norte de Inglaterra. Minimiza la intervención en el río dando continuidad a los hábitats para la fauna.  Fuente: (Luell, y otros, 2003).	Figura 26: Viaducto alto que permite completa continuidad de hábitats para la fauna.  Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - España, 2015).
Figura 27: Viaducto bajo en la autopista A20 en Alemania. Minimiza la intervención en la llanura de inundación y elimina la necesidad de curvas horizontales en la vía.	Figura 28: Viaducto diseñado para minimizar la intervención en la llanura de inundación y eliminar la necesidad de curvas horizontales en la vía.



Fuente: Fuente: (Luell, y otros, 2003).



Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011).

Requisitos mínimos de mantenimiento

- Monitoreo y poda periódica de la vegetación que pudiera acercarse a la estructura del tablero.
- Monitoreo de la permeabilidad del paso de fauna,
- Inspección y mantenimiento periódico de las barreras.

Alternativas para la adecuación de estructuras existentes:

Se pueden adaptar áreas de viaductos existentes, en los que la superficie de paso se encuentre alterada al punto de no ser viable como paso para fauna silvestre.

- Fomentar el crecimiento de vegetación en el terreno por debajo del viaducto existente, para lo cual puede requerirse iniciar con la descompactación del suelo.
- La vegetación a fomentar debe ser seleccionada para que no genere riesgo de afectación a la estructura, ya sea por el enraizamiento, o por daños en estructuras de drenaje ocasionados por las ramas.
- Limitar el acceso de personas al área de paso de fauna.

Costo de construcción:

Para el caso de un viaducto, se selecciona un ejemplo con las siguientes especificaciones: 70m de longitud, con estructura conformada por tres apoyos con cimentación profunda tipo caisson, 2 por apoyo. La pila central, conformada por columnas de diámetro 2 m. Sobre estos caisson, se construyen vigas cabezales, que sirven de apoyo de las tres vigas postensadas de 35 m de longitud en cada luz. En la parte central el viaducto tiene una altura libre de 18.65 m.

- Cimentación: caisson estribo 1 y 2 de diámetro 1.50 m, y 10 m de profundidad. Dos en cada estribo. Para la Pila central, los caissons son de 2 m de diámetro y 17 m de profundidad.
- Infraestructura: Estribos de sección 10.76 m x 2.10 m x 1.76 m con su respectivo espaldar. La pila central tiene dos columnas de 2 m de diámetro y altura 17 m, sobre estos se construye una viga cabezal de sección 10.36 m x 2.00 m x 1.76 m.

- Superestructura: Conformada por 6 vigas postensadas (3 por luz) en sección “I” de 35 m de longitud y 2 m de altura. La losa superior tiene un ancho de 10.75 m con baranda de concreto a cada lado, para un ancho libre de 10 m.

Unidad	Viaducto de 70m
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 2.222.325.237
Valor total (costo directo)	\$ 2.222.325.237

Ficha 4. Estructuras hidráulicas mayores: Puentes

Ficha 04: Estructuras hidráulicas mayores: puentes y pontones
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna terrestre en general y fauna acuática cuando se cruzan cuerpos de agua evitando o minimizando su intervención (revisar los requisitos para pasos de fauna acuática).
Generalidades: -Estructuras hidráulicas mayores que al ser utilizadas como paso de fauna actúan como soluciones de conectividad para todo tipo de fauna silvestre, siendo su única limitante, el gálibo. -Según el Manual de diseño geométrico de carreteras (Instituto Nacional de Vías - Invia, 2008), los pontones son estructuras de drenaje con luz menor o igual a 10m, mientras que la luz de los puentes es mayor a 10m. Se diferencian de los viaductos al tener como únicos puntos de apoyo los estribos en sus dos extremos. -Permiten mantener la continuidad de los ecosistemas con poca o ninguna alteración en la superficie por debajo de la estructura, cuando el gálibo es suficiente. -No se considerarán como pasos de fauna las áreas con pendientes superiores al 50%.
Condicionantes topográficas Si bien son empleados principalmente para salvar depresiones del terreno, son aplicables en todas las condiciones topográficas contempladas, con excepción de la condición en la cual la vía se encuentra por debajo de los dos taludes circundantes. Aunque se hace más simple en topografía plana, esta tipología es aplicable en todas las condiciones topográficas contempladas, variando únicamente la altura de los soportes y en menor medida la pendiente de la superficie de paso.
Figura 29: Estructura tipo – Puente y pontón



Fuente: Elaboración propia.

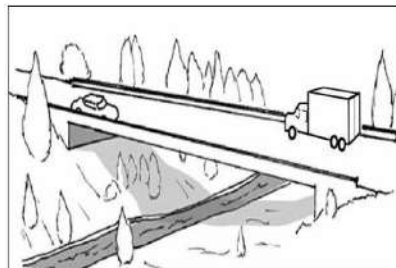
Requisitos mínimos de diseño:

- Dimensiones:
 - El área destinada a paso de fauna debe tener:
 - 0,5m de ancho libre y 1m de gálibo como dimensiones mínimas para fauna pequeña.
 - 1m de ancho y 4m de gálibo, como dimensiones mínimas para fauna grande.
- La superficie de paso:
 - El sustrato debe ser similar de las áreas que se pretende conectar.
 - El sustrato debe ser adecuado (contenido orgánico, granulometría, profundidad, etc.) para el enraizamiento de la vegetación deseada.
 - El material de suelo a emplear debe provenir de áreas cercanas para garantizar que el banco de semillas y las micorrizas favorezcan el crecimiento de vegetación nativa de la región.

Otras características para tener en cuenta:

- Idealmente, las pilas deben estar por fuera de las márgenes del cauce y de la ronda hídrica, garantizando así un paso seco durante todo el año por superficies con mínima intervención, y manteniendo las condiciones naturales del cauce y la ronda hídrica.
- Considerar la instalación de elementos desviadores de vuelo en los bordes de la calzada de servicio de puentes altos y/o largos, para reducir el riesgo de colisión de las aves con los vehículos en circulación.

Figura 30: Esquema de áreas bajo un puente



- Incluir elementos como ramas o amontonamientos de piedras para proveer refugio para la fauna de menor tamaño. Mientras sea compatible con la seguridad del diseño de la estructura, debe favorecerse la presencia de vegetación arbustiva y arbórea.

- Conectividad con las áreas de aproximación:
- Debe incluir estructuras de barrera o encauzamiento que limiten el acceso de la fauna al corredor vial.
- La pendiente entre el paso de fauna y su entorno debe ser $\leq 30^\circ$.

Fuente: (Quintero J. D., 2016).

Figura 31: Puentes paralelos en autopista de doble calzada en el Parque Nacional Banff, en Canadá.



Fuente: (Luell, y otros, 2003).

Figura 32: Pontón de uso exclusivo para paso de fauna.



Fuente: Darío Correa.

Figura 33: Puente con pilas fuera de la ronda, dejando libre el paso de fauna terrestre y sin intervención el cauce.



Fuente: Darío Correa.

Figura 34: Pontón con paso de fauna en uno de sus lados.



Fuente: Darío Correa.

Requisitos mínimos de mantenimiento - Estar libre de elementos que obstaculicen el paso dentro de la estructura y en los accesos. - Mantenimiento de elementos orientados a proveer refugio para fauna de menor tamaño.	Alternativas para la adecuación de estructuras existentes: • En puentes y pontones en los que la superficie de paso se encuentre alterada al punto de no ser viable como paso para fauna silvestre: - Fomentar el enriquecimiento de vegetación en el terreno por debajo del viaducto existente, para lo cual puede requerirse iniciar con la descompactación del suelo. - La vegetación a fomentar debe ser seleccionada para que no genere riesgo de afectación a la estructura, ya sea por el enraizamiento, o por daños en estructuras de drenaje por el crecimiento de las ramas. - Limitar el acceso de personas al área de paso de fauna. • En puentes y pontones en los que no haya opciones de paso de fauna terrestre por ausencia de espacio entre las pilas y el cauce, o por tener una pendiente superior al 50% en el talud de la orilla del cauce: - Adecuar pasarelas adosadas a las pilas del puente o pontón. Estas deben tener las siguientes dimensiones mínimas: ▪ 0,5m de ancho libre y 1m de gálibo, como dimensiones mínimas para fauna pequeña. ▪ 1m de ancho y 4m de gálibo, como dimensiones mínimas para fauna grande.
Costo de construcción: Para el caso de un puente, se selecciona un ejemplo con las siguientes especificaciones: 25m de luz, sobre un cauce de 15m de ancho, dejando 5m de ronda hídrica a cada lado y 8m de gálibo sobre el cauce. Estribos con fundación profunda, vigas en concreto postensadas; 11m de ancho incluyendo 2 bermas de 1m, andén de 1m en ambos costados, y barreras vehiculares en ambos lados.	

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 1.471.123.427
Valor total (costo directo)	\$ 1.471.123.427

Para el caso de la construcción de un pontón de 8m de luz, con cimentación superficial tipo zapata, y un vástago o muro sobre estas. Vástago que sirve de apoyo de la losa reforzada. El pontón tiene una altura libre de 5.50 m. Cimentación con zapata de sección 12 m x 3 m x 0.50 m; Infraestructura: Vástagos en cada extremo de sección 12 m x 5.80 m x 0.70 m, sobre estos se apoya una losa reforzada; Superestructura: Losa reforzada de con un ancho de 10.75 m con baranda de concreto a cada lado, para un ancho libre de 10 m, y un espesor de 0.80 m.

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 329.376.643
Valor total (costo directo)	\$ 329.376.643

Si en lugar de tratarse de un proyecto de construcción, se tratase de un reemplazo de puente vehicular, retirando por ejemplo un puente de 15m de luz en el que el cauce no tiene ronda libre, para reemplazarlo por el puente del ejemplo anterior, los costos son:

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 1.475.918.560
Valor total (costo directo)	\$ 1.475.918.560

Ficha 5. Estructuras hidráulicas menores: Box culvert (alcantarillas de sección cuadrada)

Ficha 05: Estructuras hidráulicas menores: Box culvert	
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna terrestre en general y fauna acuática cuando se cruzan cuerpos de agua evitando o minimizando su intervención (revisar los requisitos para pasos de fauna acuática).	
Generalidades: • Son alcantarillas de sección cuadrada, generalmente de más de 1m de altura y ancho. • Suelen ser muy pequeñas como para incorporar una parte de la ronda de protección del cauce, razón por la cual, para ser consideradas como paso seguro de fauna terrestre, deben incluir una estructura adicional que actúe como paso seco permanentemente. • La estructura debe estar diseñada para mantener los caudales máximos de diseño a un nivel inferior al paso seco.	
Condicionantes topográficas A menos que canalicen una corriente de agua, no resulta práctico en las siguientes condiciones:	
	Cuando uno o sus dos extremos se ubiquen muy cerca de un talud con pendiente positiva pronunciada, ya que exigiría retirar una gran cantidad de material para construir accesos mediante rampas con pendiente $\leq 30^\circ$. Adicionalmente, requerirían obras adicionales de drenaje para mantener la condición de paso seco durante la totalidad del año.
Fotografía de estructura tipo Figura 35: Estructura tipo – Box con pasarelas elevadas 	Figura 36: Estructura tipo – Box con pasarelas bajas 
Fuente: Elaboración propia.	Fuente: Elaboración propia.
Requisitos mínimos de diseño: • Dimensiones: - Para el caso de los Box culvert que además de conducir agua fungen	Otras características para tener en cuenta: - En las estructuras con 3m o más de altura, se puede agregar una cuerda u

como pasos de fauna, el área destinada a paso de fauna debe tener al menos:

- 0,3m de ancho libre y 0,5m de gálibo, para fauna pequeña.
- 0,5m de ancho libre y 1m de gálibo, para fauna mediana.
- 1m de ancho y 4m de gálibo, para fauna grande.

- Para el caso de los Box culvert que se dedican enteramente a paso de fauna, se deben garantizar las siguientes dimensiones mínimas:

- Para fauna pequeña: ancho 1m, alto 1m, índice de apertura 0,2.
- Para fauna mediana: ancho 2m, alto 2m, índice de apertura 0,4.
- Para fauna grande: ancho 2m, alto 4m, índice de apertura 0,73.

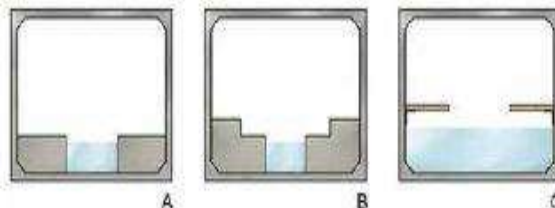
- La superficie de paso:

- En las estructuras de dedicación exclusiva al paso de fauna, el sustrato debe ser similar al de las áreas que se pretende conectar y en ella no se deben generar empozamientos.
- Debe incluir estructuras de barrera o encauzamiento que limiten el acceso de la fauna al corredor vial.
- La pendiente entre el paso de fauna y su entorno debe ser $\leq 30^\circ$.
- Evitar las pasarelas en superficie metálica, por su corta vida ante la corrosión y por los riesgos de generar bordes afilados que generen cortes y heridas a los individuos.
- Agregar elementos para proporcionar refugio a fauna pequeña, por ejemplo, ramas o hileras de rocas.

- Conectividad con las áreas de aproximación:

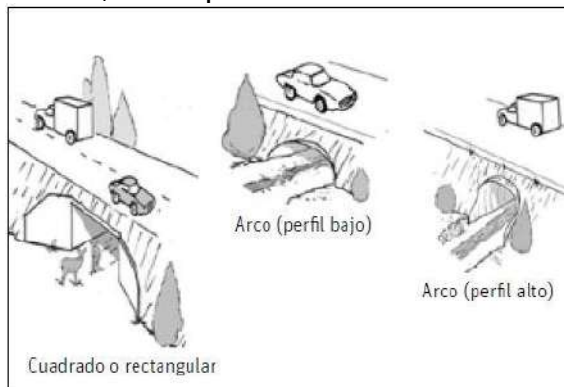
otros elementos rígidos que permitan elaborar versiones simples de pasos arbóreos que serían utilizados principalmente por marsupiales y roedores.

Figura 37_: Secciones transversales de Box culverts con pasos de fauna.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - España, 2015).

Figura 38: Opciones de diseño de Box-culvert, como pasos de fauna.



Fuente: (Quintero J. D., Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables, 2106)

- El sustrato debe ser como el de las áreas que se pretende conectar.
 - El sustrato debe ser adecuado (contenido orgánico, granulometría, profundidad, etc.) para el enraizamiento de la vegetación deseada.
 - El material de suelo a emplear debe provenir de áreas cercanas para garantizar que el banco de semillas y las micorrizas favorezcan en crecimiento de vegetación nativa de la región.
 - Incluir elementos como ramas o amontonamientos de piedras para proveer refugio para la fauna de menor tamaño. mientras sea compatible con la seguridad del diseño de la estructura, debe favorecerse la presencia de vegetación arbustiva y arbórea.
- Otros requisitos:
- Las barreras deben incluir la parte superior de la estructura,

Figura 39: Box culvert en Kenia, para paso de elefantes.



Fuente: (Straziuso, 2011)

Figura 40: Box culvert con pasarelas a ambos lados.



Fuente: (van der Grift & van der Sluis, Design of an ecological network for Piano di Navelli (Abruzzo), 2003)

Figura 41: Box para fauna pequeña (ancho 1,2m, alto 0,8m, lago 40m.), en la carretera A50 en Holanda.



Fuente: (Luell, y otros, 2003)..

Figura 42: Box culvert con pasarelas a ambos lados.



Fuente: Darío Correa.

Requisitos mínimos de mantenimiento

- Retirar los elementos que obstaculicen el paso dentro de la estructura y en los accesos.
- Mantenimiento de elementos orientados a proveer refugio para fauna de menor tamaño.

Alternativas para la adecuación de estructuras existentes:

- Cuando se trate de estructuras subdimensionadas respecto a los caudales de diseño, se deben implementar pasarelas adosadas a las paredes laterales, de modo que permitan el tránsito de fauna pequeña (implica el acondicionamiento de accesos).
- En estructuras donde no se puedan acondicionar las pasarelas, se deberá optar por reemplazarlas por estructuras similares de mayor capacidad, o por adicionar otra estructura, o por establecer varias estructuras adicionales aledañas.

Figura 43: Alternativa de adaptación de un box hidráulico agregando dos alcantarillas para paso de fauna seco.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

Costo de construcción:

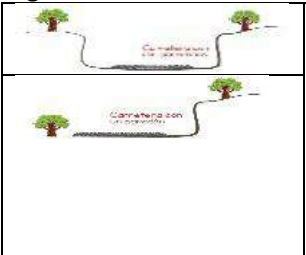
Para el caso de un box culvert, se selecciona un ejemplo con las siguientes especificaciones: 4m de ancho x 3m de alto, que incluya pasarelas de 50cm de ancho (paso de fauna) en ambos lados:

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 156.090.319
Valor total (costo directo)	\$ 156.090.319

Se propone como ejemplo, el cambio de una alcantarilla de 90cm de diámetro por un box culvert con las características del ejemplo anterior:

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 167.994.537
Valor total (costo directo)	\$ 167.994.537

Ficha 6. Estructuras hidráulicas menores: Alcantarillas

Ficha 06: Estructuras hidráulicas menores: Alcantarilla	
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna terrestre mediana y pequeña.	
Generalidades: -Hace referencia específicamente a las alcantarillas de sección redonda. -En nuestro medio suelen ser de entre 45 y 120 cm de diámetro, aunque en algunos casos se utilizan tubos de concreto reforzado de hasta 365 cm de diámetro. -Para ser consideradas como paso de fauna, deben mantener un paso seco permanente, siendo preferibles las alcantarillas diseñadas de forma específica como paso de fauna terrestre (por lo tanto, sin conducción de agua). Para adaptar una alcantarilla diseñada para conducción de agua, se debe implementar una plataforma que sirva como paso seco permanente. -Para el caso de las alcantarillas dedicadas exclusivamente para paso de fauna. Se tomará como ancho del paso solamente el radio de la estructura. Esto, en razón a que la fauna terrestre solo podría caminar por el segmento inferior de la circunferencia, que para el caso será definido como la cuerda (en el concepto geométrico) resultante de un ángulo de 60 grados, la cual tiene una longitud igual al radio de la circunferencia.	
Condicionantes topográficas A menos que canalicen una corriente de agua, no resulta práctico en las siguientes condiciones:	
	Cuando uno o sus dos extremos se ubicarían muy cerca de un talud con pendiente positiva pronunciada ya que exigiría retirar una gran cantidad de material para construir accesos mediante rampas con pendiente $\leq 30^\circ$. Adicionalmente, requerirían obras adicionales de drenaje para mantener la condición de paso seco durante la totalidad del año.
Figura 44: Estructura tipo – Alcantarilla redonda	



Fuente: Elaboración propia.

Requisitos mínimos de diseño:

- Dimensiones:
 - Para el caso de las alcantarillas que además de conducir agua fungen como pasos de fauna, el área destinada a paso de fauna debe tener al menos:
 - Al menos 0,3m de ancho libre y 0,5m de gálibo, para fauna pequeña.
 - Al menos 0,5m de ancho libre y 1m de gálibo, para fauna mediana.
 - Al menos 1m de ancho y 4m de gálibo, para fauna grande.
 - Para el caso de las alcantarillas que se dedican enteramente a paso de fauna, se deben garantizar las siguientes dimensiones mínimas:
 - Para fauna pequeña: diámetro 0,9m, índice de apertura 0,2.
 - Para fauna mediana: diámetro 1,5m, índice de apertura 0,4.
 - Para fauna grande: diámetro 3,7m, índice de apertura 0,73.

Otras características para tener en cuenta:

- En las estructuras con 3m o más de altura, se puede agregar una cuerda u otros elementos rígidos que permitan elaborar versiones simples de pasos arbóreos que serían utilizados principalmente por marsupiales y roedores.

Figura 45: Tubos para proporcionar refugio a especies de tamaño pequeño. en una alcantarilla con dedicación exclusiva a paso de fauna de especies medianas..

- La superficie de paso:
 - En lo posible, especialmente en las estructuras de dedicación exclusiva a paso de fauna, el sustrato debe ser similar al de las áreas que se pretende conectar y en ella no se deben generar empozamientos.
 - Debe incluir estructuras de barrera o encauzamiento que limiten el acceso de la fauna al corredor vial.
 - La pendiente entre el paso de fauna y su entorno debe ser $\leq 30^\circ$.
 - Evitar las pasarelas en superficie metálica, por su corta vida ante la corrosión y por los riesgos de generar heridas.
 - Agregar elementos para proporcionar refugio a fauna pequeña, por ejemplo, ramas o hileras de rocas.

- Conectividad con las áreas de aproximación:
 - El sustrato debe ser como el de las áreas que se pretende conectar.
 - El sustrato debe ser adecuado (contenido orgánico, granulometría, profundidad, etc.) para el enraizamiento de la vegetación deseada.
 - El material de suelo a emplear debe provenir de áreas cercanas para garantizar que el banco de semillas y las micorrizas favorezcan en crecimiento de vegetación nativa de la región.
 - Incluir elementos como ramas o amontonamientos de piedras para proveer refugio para la fauna de menor tamaño. mientras sea compatible con la seguridad del diseño de la estructura, debe favorecerse la presencia de vegetación arbustiva y arbórea.



Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011).

• Otros requisitos: - Las barreras deben incluir la parte superior de la estructura,	
Figura 46: Alcantarilla para fauna pequeña, con recuperación de la vegetación circundante.  Fuente: Darío Correa.	Figura 47: Batería de tres alcantarillas.  Fuente: Darío Correa.
Requisitos mínimos de mantenimiento - Despeje de elementos que obstaculicen el paso dentro de la estructura y en los accesos. Mantenimiento de elementos orientados a proveer refugio para fauna de menor tamaño.	Alternativas para la adecuación de estructuras existentes: - Cuando se trate de estructuras con un área libre respecto a los caudales de diseño, se podrían implementar pasarelas adosadas a las paredes laterales, de modo que permitan el tránsito de fauna pequeña (implica el acondicionamiento de accesos). Figura 48: Hilera de piedras generar un paso seco en una alcantarilla con poco flujo de agua. 

Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011).

Costo de construcción:

Las especificaciones del ejemplo son: alcantarilla de sección redonda en concreto, de 90 cm de diámetro:

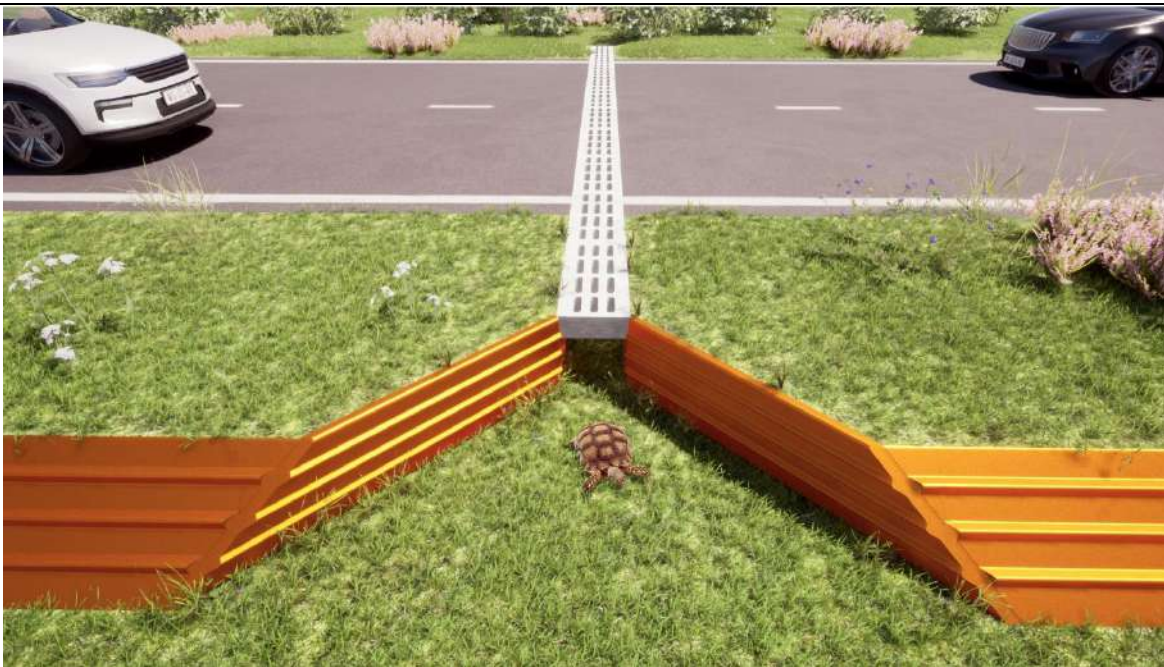
Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 17.274.785
Valor total (costo directo)	\$ 17.274.785

En el caso de reemplazar una alcantarilla de 60cm de diámetro por dos alcantarillas de 90cm de diámetro (puede dedicarse una a conducción hidráulica, y la otra al paso de fauna):

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	2
Precio unitario (costo directo)	\$ 65.166.358
Valor total (costo directo)	\$ 65.166.358

Ficha 7. Zanjas abiertas o alcantarillas superficiales

Ficha 07: Zanjas abiertas o alcantarillas superficiales
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna terrestre pequeña, incluyendo invertebrados, anfibios, reptiles, y pequeños mamíferos.
Generalidades: - Para permitir un paso seguro para fauna de menor tamaño, como anfibios (ranas, y salamandras) y reptiles (lagartijas y tortugas terrestres), pequeños mamíferos (ratones, chuchas, armadillos, entre otros). Se ha utilizado exitosamente también como paso de fauna para cangrejos de la familia Gecarcinidae en sus migraciones entre áreas boscosas y el mar. - Por ser específicos para algunas especies, su localización debe restringirse a las áreas en que el análisis de conectividad funcional y/o las observaciones <i>in situ</i> indiquen que hay o podría haber rutas de desplazamiento. - Consiste en un paso de sección rectangular (para facilitar el desplazamiento de los anfibios) en la que la parte superior cuenta con orificios de ventilación y por los que ingresa la luz del sol. - Son estructuras dedicadas exclusivamente a la función de paso de fauna, no tienen funcionalidad para el drenaje de aguas de escorrentía y deben permanecer libres de encharcamientos para no comprometer en ningún momento su funcionalidad.
Condicionantes topográficas Es aplicable en todas las condiciones topográficas, siempre y cuando se garanticen que se encuentra por encima del nivel de las aguas, las cunetas y/o del terreno circundante, de modo tal que no sea objeto de canalización de escorrentías, ni de retención de agua.
Figura 49: Estructura tipo – Alcantarilla superficial



Fuente: Elaboración propia.

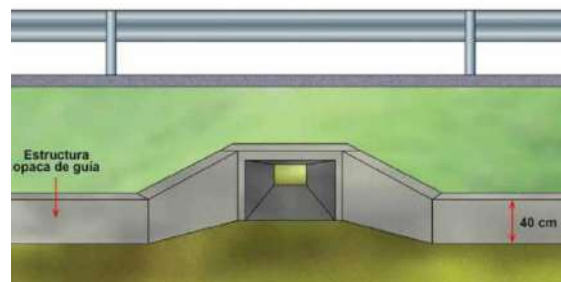
Requisitos mínimos de diseño:

- Dimensiones:
 - Al menos 0,4m de ancho y 0,3m de alto, manteniendo coeficiente de apertura ≥ 0.01 .
- La superficie de paso:
 - Debe tener una cobertura ligera de arena o suelo, que coincida con el suelo de las áreas circundantes.
- Conectividad con las áreas de aproximación:
 - En las superficies de aproximación y en el acceso se deben evitar escalones o rampas con pendientes superiores al 15%.
 - Debe mantener vegetación arbustiva de porte bajo, que sin dificultar el paso de los animales, los oculte parcialmente de depredadores.
- Otros requisitos:
 - Las barreras deben tener al menos 40cm de altura, ser de un material sin orificios y de baja fricción, y deben

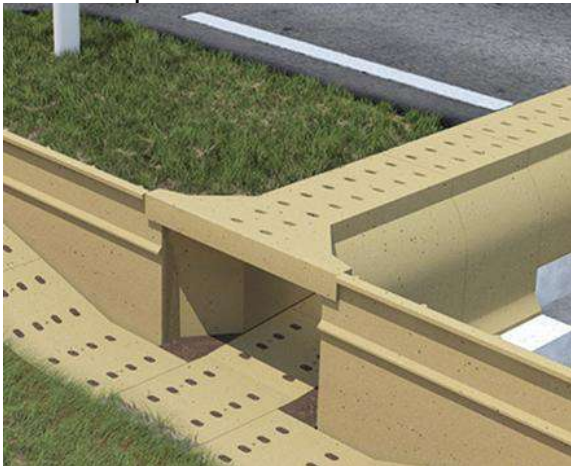
Otras características para tener en cuenta:

- Para facilitar el mantenimiento, se recomienda que la parte superior de la estructura, o al menos el 50% de ella pueda ser removido periódicamente para retirar de forma eficiente el material acumulado.

Figura 50: Esquema general para paso de anfibios.



Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011).

incluir una pestaña superior que evite que sean escaladas. - Las barreras deben conducir directamente hacia los pasos.	
Figura 51: Alcantarilla superficial en módulos prefabricados.  Fuente: www.acousa.com, consultada el 3 de marzo de 2020.	Figura 52: Alcantarilla superficial para paso de cangrejos en Christmas Island, Australia.  Fuente: https://www.christmas.net.au/20km-of-barriers-31-underpasses-and-1-bridge-getting-ready-for-the-great-crab-migration/, consultada el 4 de marzo de 2020.
Figura 53: Paso de anfibios, con estructura de guía en embudo.  Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).	Figura 54: Paso de anfibios o alcantarilla superficial  Fuente: (Luell, y otros, 2003).
Requisitos mínimos de mantenimiento - Inspección frecuente para retirar sedimentos y residuos (las aperturas superiores hacia la superficie de rodadura de la vía hacen que el	Alternativas para la adecuación de estructuras existentes: - Cuando se trate de estructuras hidráulicas con un área libre respecto a los caudales de diseño, se podrían implementar pasarelas adosadas a

mantenimiento se requiera con mayor frecuencia que en otras estructuras).
 - Inspección frecuente (y corrección donde sea necesario) de las barreras, verificando su continuidad, los sistemas de escape, y el estado de la pestaña superior.

Figura 55: Mantenimiento de una alcantarilla superficial de gran tamaño, diseñada para paso de cangrejos en Christmas Island, Australia.



Fuente:

<https://www.christmas.net.au/20km-of-barriers-31-underpasses-and-1-bridge-getting-ready-for-the-great-crab-migration/>, consultada el 4 de marzo de 2020.

las paredes laterales, de modo que permitan el tránsito de fauna pequeña (implica el acondicionamiento de accesos).

Figura 56: Hilera de piedras generar un paso seco en una alcantarilla con poco flujo de agua.



Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011).

Costo de construcción:

Para este tipo de estructura se selecciona un ejemplo con las siguientes especificaciones: zanja de 30cm de altura y 40cm de ancho, por 10m de largo, con losas removibles en concreto con orificios para ventilación. Incluye las adecuaciones de acceso (aletas), y 2m de barreras con pestañas o salientes que impidan que los individuos de fauna pequeña escalen o escapen.

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 7.407.258
Valor total (costo directo)	\$ 7.407.258

Ficha 8. Pasos para fauna acuática

Ficha 08: Pasos para fauna acuática
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna acuática, diseñadas principalmente para el paso de peces, pero abarcando soluciones de movilidad para mamíferos acuáticos e invertebrados.
Generalidades: • Estructuras de diferentes tipologías constructivas, con características comunes que permiten a la fauna pasar de un lado al otro de la vía utilizando el cauce como paso seguro. • En condiciones ideales, mantienen intacta la integridad del cauce, sin alteraciones en el sustrato ni en las condiciones de flujo del agua. • El diseño de la estructura de drenaje debe garantizar que no se producirán fenómenos de socavación u otros efectos que puedan alterar el flujo del agua. Especialmente se debe evitar la formación de desniveles que generen obstáculos que dificulten el tránsito de la fauna acuática. • Para el caso de dobles calzadas u otra infraestructura con derechos de vía superiores a 20 metros, se deberá garantizar el acceso de luz y ventilación, para lo cual se debe considerar la interrupción de la estructura de drenaje en el separador. • Si bien en algunos tipos de infraestructura, principalmente en presas, se emplear soluciones de paso de fauna acuática como las “escaleras de peces”, se debe tener claridad sobre las limitaciones de movilidad que puedan tener las especies de peces para las cuales se construye la estructura, así como los costos de mantenimiento de las mismas. • Se recomienda que las estructuras sean amplias, tanto para acoger crecientes del cauce, como para permitir el paso de las especies de fauna acuática que evitan tramos del cuerpo de agua con poca luz (Department of Transport and Main Roads, 2010). • Se hace claridad en que los pasos para fauna acuática que se tienen en cuenta en este documento se refieren a las obras de drenaje de los cruces entre los cuerpos de agua y sus rondas y la infraestructura vial.
Condicionantes topográficas Únicamente es aplicable cuando se implementa en un cauce ya sea natural o artificial, y cuando la pendiente del cauce logra ser superada por las características de movilidad de las especies focales.
Figura 57: Estructura tipo – Paso para fauna acuática



Fuente: Elaboración propia.

Requisitos mínimos de diseño:

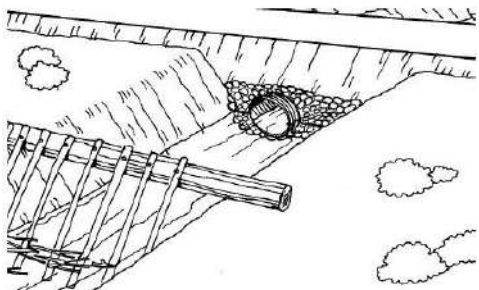
Dado que en esta categoría confluyen diversas tipologías de estructuras, no se establecen dimensiones específicas para el diseño.

Se debe evitar toda intervención del cauce y de su ronda hídrica, manteniendo las estructuras de apoyo por fuera de la misma (con el fin de no interrumpir el paso de la fauna terrestre).

Para las estructuras de drenaje menores (alcantarillas y box culvert), se recomienda emplear estructuras de sección abierta que permitan mantener el sustrato original del cauce, o en su defecto, emplear estructuras de sección cerrada que entonces deben ser instaladas de modo tal que queden hundidas en el terreno y se puedan recrear las condiciones del fondo o sustrato del lecho del cauce.

Otras características para tener en cuenta:

- La presencia de pequeñas áreas de remanso en el descole podrían facilitar que los peces remonten el cauce.
- En cauces permanentes o estacionales, la instalación de rejas metálicas que eviten la entrada de elementos que puedan obstruir o reducir el caudal.
- Para reducir la velocidad y turbulencia del agua, se pueden instalar disipadores, aunque esto implica un aumento en la frecuencia de mantenimiento el sedimento se acumula en ellos reduciendo su eficiencia (Department of Transport and Main Roads, 2010). Una opción alterna (por experimentar en el país) es la ubicación de elementos con superficies irregulares como cuerdas muy desgastadas (“mussel spat ropes”) que generen reducción de velocidad y turbulencia creando puntos donde los organismos puedan “descansar” del esfuerzo de avanzar en contra de la corriente (David, Tonkin, Taipeti, & Hokianga, 2014), (Ottburg & Blank, 2015), (CTC & Associates, 2018).

• Conservación de la fisonomía natural del cauce en el paso: - Mantener condiciones similares a las condiciones naturales de turbulencia y velocidad de flujo del agua, de composición del sustrato, y de presencia de vegetación en las orillas de modo que la fauna acuática pueda desplazarse tanto a favor como en contra de la corriente. - Minimizar la longitud de intervención, el ancho del cauce y la pendiente de este evitando desniveles o turbulencias que generen condiciones de flujo diferentes a las naturales. - En todos los casos, la estructura deberá permitir que en su interior se mantenga una lámina de agua acorde a las condiciones particulares del cauce y de las condiciones climáticas. • Conectividad con las áreas de aproximación: - Evitar desniveles o turbulencias que generen condiciones de flujo diferentes a las naturales. No podrán ser consideradas como paso para fauna acuática aquellas estructuras que presenten en el encole y/o en el descole, desniveles pronunciados o áreas de turbulencia que limiten el paso de los peces.	Figura 58: Ejemplo de rejilla para prevenir el ingreso de elementos grandes al paso de fauna acuática.  Fuente: (Keller & Sherar, 2004).
Figura 59: Uso de una alcantarilla de sección abierta, para minimizar la intervención del cauce.	Figura 60: Puente sobre el río Cauca, en Paletará, Cauca, con el cauce libre de intervención.

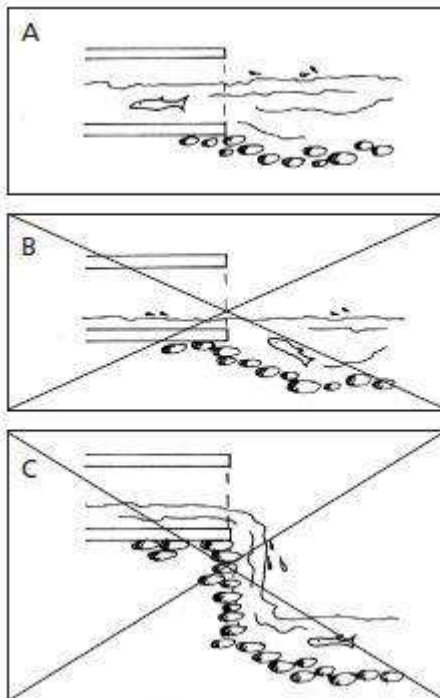


Fuente: (Keller & Sherar, 2004).



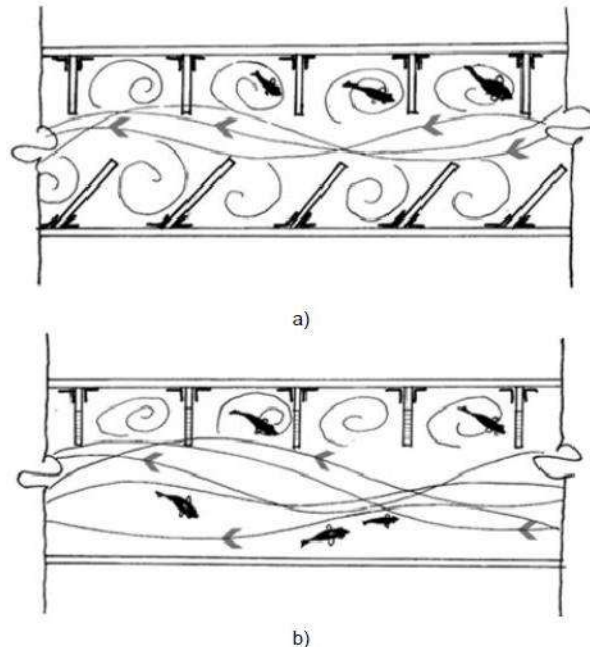
Fuente: Darío Correa.

Figura 61: Situaciones a evitar en el descole.



Fuente: (Luell, y otros, 2003).

Figura 62: Uso de disipadores de energía (en uno y en ambos lados) para facilitar el paso de fauna acuática.



Fuente: (Department of Transport and Main Roads, 2010).

Requisitos mínimos de mantenimiento

- Retiro de residuos y elementos que obstaculicen el flujo del agua y/o que alteren las condiciones de este.
- Dragado periódico de las zonas de remanso en el descole.
- Limpieza periódica en los deflectores y/o en las rejillas del encole, junto con inspección de su

Alternativas para la adecuación de estructuras existentes:

- Eliminar las condiciones de socavación y desniveles en encoles y descoles (puede requerir la reinstalación de la estructura).
- Reducir la velocidad del agua y generar remansos mediante disipadores y/o cuerdas (mussel ropes).

estado e implementación del mantenimiento preventivo y correctivo que sea necesario.	- Establecer áreas de remanso en el encole y el descole
Costo de construcción: Las especificaciones de un pontón de 10m de luz y 5m de gálibo:	
Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 411.720.804
Valor total (costo directo)	\$ 411.720.804
En el caso de reemplazar un box de 5m de ancho por el pontón del ejemplo, para rehabilitar la funcionalidad del cauce y la ronda hídrica dejando como mínimo 2m libres a cada lado de la estructura que pueda ser empleada como paso de fauna terrestre:	
Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad	2
Precio unitario (costo directo)	\$ 453.653.759
Valor total (costo directo)	\$ 453.653.759

Ficha 9. Barreras para encauzar la fauna hacia el paso seguro

Ficha 09: Barreras para encauzar la fauna hacia el paso seguro
Grupos de fauna a los que puede atender: Fauna terrestre, incluyendo fauna arborícola.
Generalidades: - Deben ubicarse en tramos identificados como de alto riesgo de atropellamiento de fauna silvestre, como complemento a las estructuras de paso de fauna terrestre para cumplir dos funciones a saber: evitar el acceso de la fauna al corredor vial, y encauzar a la fauna hacia las estructuras de paso seguro. - El diseño específico debe definirse a partir del análisis de la movilidad de la fauna afectada por el efecto barrera generado por la infraestructura vial, esto incluye

variables como su altura sobre el suelo y su resistencia a embates de algunas especies.

- La barrera debe instalarse de tal forma que no queden espacios entre ella y el sustrato, y debe estar asegurada a él de modo que no permita el paso de pequeños animales que puedan empujar su borde inferior.
- En caso de emplear elementos reticulados para la barrera, estos deben tener los puntos de cruce (nodos de la retícula) fijos para evitar que atrapen las extremidades de los animales.

Estructura tipo:

Figura 63: Estructura tipo – Barrera



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64: Detalle de la parte inferior de la barrera, con dispositivo antiescalada.



Fuente: Elaboración propia.

Dimensiones

Las dimensiones específicas, las características de diseño y los materiales de construcción de cada barrera deben responder a las características de la fauna local, Como punto de partida se establecen las siguientes:

- Altura sobre el terreno: 1,8m.
- Material: Malla electrosoldada con ojo de 10cm, con una banda inferior de 0,4m de mayor densidad, o en otro material (para fauna pequeña).
- En áreas de suelo profundo, debe tener continuidad al menos 0,2m bajo el suelo, para desestimular el paso de fauna fosorial.
- La altura de la malla puede ser variable en función de al pendiente del área circundante. Si la vía discurre en terraplén, la malla ubicada en el talud puede ser un poco más baja ya que el terraplén aumentará su altura, caso contrario a cuando el talud tiene pendiente positiva, que la altura de la barrera deberá aumentarse ya que la pendiente facilita que sea sobrepasada de un salto.
- Los soportes deben ubicarse del lado del corredor vial para evitar que se conviertan en elementos por los cuales la fauna acceda la parte superior de la barrera.
- Para efectos de facilitar la inspección periódica y los trabajos de mantenimiento que se requieran, es aconsejable dejar un corredor de servicio (por fuera del corredor vial) entre la barrera y la pantalla vegetal, o entre la barrera y la vegetación arbustiva y/o arbórea. Este espacio

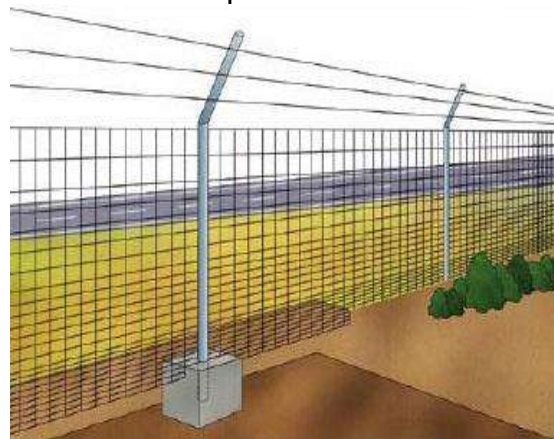
facilitará adicionalmente la poda de la vegetación que pudiera alcanzar la barrera y servir de acceso a su borde superior.

Figura 65: Combinación de barrera y pantalla vegetal.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Figura 66: Barrera con borde superior en ángulo hacia el exterior (fuera del corredor vial), y aumento de la densidad en la parte inferior.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Figura 67: Barrera en cerco de alambre, sobre la entrada de una alcantarilla diseñada como paso de fauna.



Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011).

Figura 68: Adaptación de la barrera en depresiones y/o cruce de cauces o desagües.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

- Para el caso de pequeños mamíferos, anfibios e invertebrados, la barrera desde la que debe partir el análisis es de 40cm de altura sobre el sustrato, de un material continuo con bajo coeficiente de fricción, y contar con una pestaña en la parte alta que evite que superen esta barrera.

Figura 69: Estructura opaca de metal para guiar a la fauna más pequeña hacia el paso seguro.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Figura 70: Barrera provisional para anfibios y reptiles.



Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011).

Extensión y extremos

La extensión de la barrera debe responder al análisis de la conectividad funcional como herramienta para identificar las áreas por las cuales la fauna silvestre podría acercarse al corredor vial. Se establecen los siguientes parámetros:

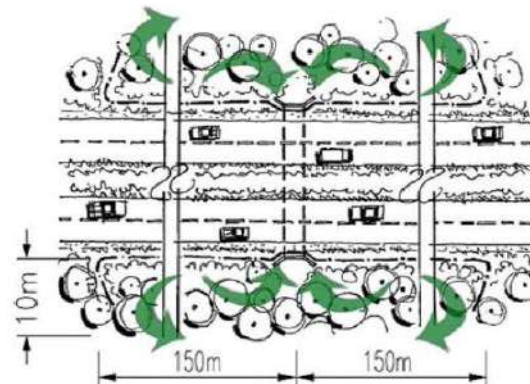
- Debe terminar en tramos de la vía que sean rectos.
- En los extremos se debe considerar la instalación de un área con sustrato irregular como cascajo, para desestimular el paso de la fauna hacia el corredor vial.
- Los extremos de la barrera deben estar curvados hacia el exterior del corredor vial.

Figura 71: Lecho de piedras utilizado como cambio de sustrato al final de la barrera.



Fuente: (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation, 2011).

Figura 72: Cerramiento de la barrera en sus extremos.



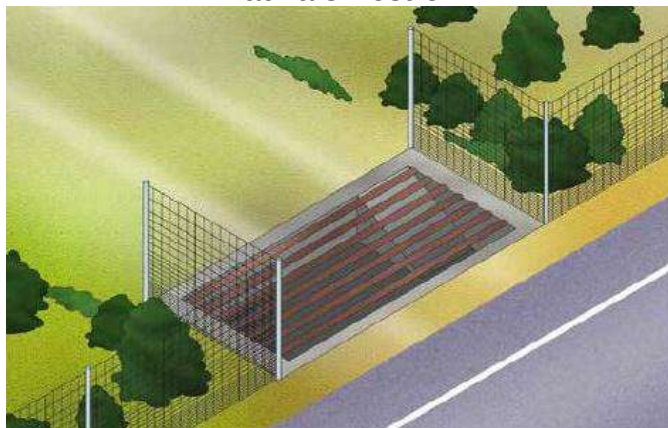
Fuente: (Department of Transport and Main Roads, 2010).

- La longitud de la barrera debe ser proporcional al área en que se interrumpió la conectividad funcional para la fauna silvestre, y a la tipología de la estructura, y debe tener al menos la longitud que se indica en la siguiente tabla:

Grupo de estructuras	Longitud de la barrera, a cada lado de la estructura.
Ecoductos	500m
Puentes, pontones y box culvert de 5m o más de ancho	150m
Box culvert y alcantarillas entre 0,6 y 5m de ancho	50m
Zanjas abiertas	20m

- En los puntos de cruce con otras vías, privadas o públicas, se recomienda dar continuidad a la barrera mediante portones o estructuras del tipo “pasaganado”, que eviten el acceso de la fauna silvestre hacia el corredor vial. En el caso de utilizar pasaganados, en su interior se debe incluir una rampa que permita la salida, alejándose de la vía, de la fauna que caiga en la estructura.

Figura 73: Puerta con pasaganado en apertura de la barrera para paso de fauna silvestre.



Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

Sistemas de escape

Son las estructuras y dispositivos que permiten a los animales que por una u otra razón se encuentran en el derecho de vía, escapar hacia el lado externo de las barreras sin tener que desplazarse hasta el extremo de ellas.

Si bien hay opciones de mecanismos como puertas que solo operan en un sentido, se recomienda optar por estructuras simples que exijan muy poco de bajo

mantenimiento y que permitan a la fauna alcanzar la parte superior de la barrera y saltar hacia el lado externo, estas estructuras pueden ser tan simples como rampas con pendientes de entre 30 y 45° (construidas en tierra y empradizadas), paralelas a la barrera, o amontonamientos de ramas y/o piedras.

Figura 74: Ejemplo de rampa de escape, en tierra.



Fuente: Elaboración propia.

Requisitos mínimos de mantenimiento	Alternativas para adecuación de estructuras existentes
- El mantenimiento periódico debe corregir los desperfectos como levantamientos puntuales de la malla. -	- Cuando el derecho de vía esté demarcado por cercas de alambre, se debe evaluar la opción de aumentar la altura (1,8m) y/o la densidad del alambrado (0,15m) y agregar elementos de mayor densidad en la parte inferior.

Costo de construcción:

Para el caso de un paso de fauna acuático, se selecciona una barrera en malla de triple torsión, extendiéndose 150m a cada lado del paso de fauna:

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad (m lineal)	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 45.357

Valor total (costo directo)	\$ 13.607.236
-----------------------------	---------------

Para la misma barrera, pero en malla de polietileno:

Unidad	Unidad (obra completa)
Cantidad (m lineal)	1
Precio unitario (costo directo)	\$ 29.702
Valor total (costo directo)	\$ 8.910.586

6.4 Monitoreo de la eficiencia de los pasos de fauna silvestre

El seguimiento se planea en dos líneas, el seguimiento al uso de los pasos de fauna, y el seguimiento al atropellamiento de fauna silvestre. En la medida en que los pasos de fauna sean construidos y entren en operación, se espera que los índices de atropellamiento, al menos en los tramos intervenidos, se reduzca.

1. Seguimiento a la efectividad de los pasos de fauna.

Los pasos de fauna deben ser objeto de monitoreo para identificar tanto aciertos como elementos que deben ser objeto de mejoramiento tanto en los pasos objeto de monitoreo, como en los pasos que se construirán en el futuro. Se deben obtener datos de las especies y del número de individuos que los utilizan, así como de fluctuaciones temporales en la frecuencia de uso. Para esto, se recomienda el uso de las siguientes técnicas en pasos para fauna terrestre y arbórea:

- Redes densas por debajo de los puentes de dosel, para interceptar heces (requiere monitoreo muy frecuente para detectar las heces antes de que se degraden).
- Cámaras trampa en accesos y en el paso, para comparar especies y número de individuos que se acercan y los que efectivamente pasan. Se recomienda implementar elementos de comparación de altura y longitud en el campo visual de la cámara, para estimar las tallas de los animales capturados con esta técnica.
- Trampas de huellas al interior de los pasos inferiores.

La evaluación de los casos de bajo éxito debe profundizar en la identificación de las causas de dichos resultados, las cuales pueden estar asociadas con aspectos de diseño, construcción y ubicación de los pasos de fauna o de sus medidas complementarias; los pasos de fauna deben ajustarse para corregir y mejorar dichos aspectos.

2. Monitoreo del atropellamiento de fauna silvestre.

Este registro debe crearse a partir de información estandarizada que permita comparaciones entre diferentes vías y/o entre diferentes periodos de tiempo, y la aplicación de procedimientos estadísticos para garantizar que el esfuerzo invertido en la obtención de los datos se pueda ver reflejado en conclusiones robustas.

A continuación se establecen lineamientos generales para el monitoreo estructurado del atropellamiento de fauna silvestre en proyectos viales.

a) ¿Dónde monitorear?

Con el fin de comparar el atropellamiento de fauna silvestre bajo diferentes niveles de medidas de manejo, se deben realizar monitoreos estandarizados en:

- i. Tramos donde se han implementado pasos de fauna.
- ii. Tramos donde se han detectado atropellamientos, pero las medidas implementadas se limitan a señalización y control de la velocidad.
- iii. Tramos en los que no se han implementado medidas de manejo.

En primera instancia se deben cubrir los tramos para los que se identifica una superposición entre la infraestructura de transporte y los corredores de conectividad funcional para la fauna silvestre, sin embargo, es deseable incluir también tramos ajenos a dicha conectividad, que funcionen como tramos de control.

b) ¿Cómo monitorear?

Para permitir comparaciones, la intensidad y los métodos de muestreo deben estandarizarse, para lo cual se propone lo siguiente para cada unidad de muestreo:

- i. Longitud del tramo: 5 km.
- ii. Periodicidad (mínima) de muestreo: una vez cada dos semanas.
- iii. Área de muestreo básica: Superficie de rodadura y bermas.
- iv. Área de muestreo complementaria: Cunetas y franja de seguridad de la vía. Los especímenes hallados en esta área se pueden haber desplazado después de ser atropellados o golpeados en otro sitio.
- v. Velocidad de desplazamiento: Entre 20 y 30km/h.
- vi. Medio de desplazamiento: Carro o bicicleta.
- vii. Horario de muestreo: entre las 6 y las 9 a.m.
- viii. Datos a registrar: Hora de inicio del recorrido, número de observadores, abscisa y coordenadas del punto en que se encuentra el animal, localización del animal con respecto a la berma, especie, sexo y longitud total del espécimen (cuando sea posible).

Los cadáveres deben ser retirados una vez se registren, para evitar recuentos, y los animales que se encuentren con lesiones deben ser conducidos al centro de manejo de fauna que sea autorizado por la autoridad ambiental regional.

6.5 Propuesta de señalización vial para pasos de fauna silvestre.

En Colombia, el diseño y la ubicación de las señales de tránsito debe hacerse de forma acorde a lo establecido en el “Manual de señalización vial (Ministerio de Transporte, 2004) (Ministerio de Transporte, 2015). En relación con la fauna, en dicho manual se cuenta con señales preventivas, reglamentarias e

informativas, que pueden ser horizontales y/o verticales. Dentro de las señales preventivas se cuenta con la “SP-49: Animales en la vía”, que según la descripción del manual “(...) se empleará para advertir al conductor la posibilidad de tránsito de animales sobre la vía. Su colocación no deberá entenderse como una autorización tácita para que el ganado sea movilizado caminando por las vías”.



El manual de señalización vial (Ministerio de Transporte, 2015) se deja abierta la opción de utilizar otras figuras de animales en la señal SP-49, sin embargo, no establece lineamientos específicos para informar y/o prevenir a los conductores sobre la proximidad de un punto donde la fauna silvestre cruza la vía sobre su superficie o donde hay pasos de fauna. Por esta razón, las empresas concesionarias de las vías han optado por crear nuevas señales, como las que se muestran a continuación:

Figura 76: Señal preventiva (por el fondo amarillo), con siluetas pequeñas de 4 animales diferentes.	Figura 77: Señal preventiva anunciando paso de hormigueros.	Figura 78: Señal preventiva anunciando paso de zorros.
		
Fuente: Darío Correa.	Fuente: https://www.cunaguaro.co/	Fuente: Darío Correa.
Figura 79: Señal preventiva	Figura 80: Señal preventiva anunciando paso de armadillos.	Figura 81: Señal preventiva anunciando paso de iguanas

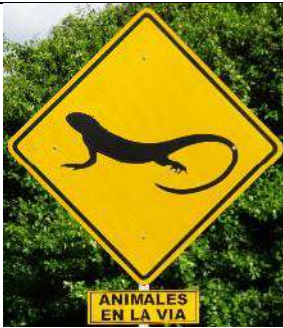
anunciando paso de armadillos.		
		
Fuente: www.recosfa.com	Fuente: https://www.cunaguaro.co/	Fuente: http://www.latin-wife.com/blog/colombia/road-signs/ , el 17 de abril de 2019.

Figura 82: Señal preventiva anunciando paso de una especie sin identificar.	Figura 83: Señal preventiva anunciando paso de una especie sin identificar.	Figura 84: Señal preventiva anunciando paso de una especie sin identificar
		
Fuente: Darío Correa.	Fuente: https://www.cunaguaro.co/	Fuente: www.recosfa.com

Figura 85: Señal preventiva anunciando paso de primates.	Figura 86: Señal preventiva anunciando paso de primates.	Figura 87: Señal preventiva anunciando paso de primates.
		

Fuente: <http://www.latin-wife.com/blog/colombia/road-signs/>, el 17 de abril de 2019.

Fuente: <https://www.motorcyclistonline.com/epic-rides-forget-what-youve-been-told-about-riding-in-colombia#page-5>, el 2 de abril de 2019.

Si bien es clara la necesidad de utilizar señales informativas y preventivas para aumentar el estado de alerta de los conductores ante el riesgo de eventos de colisión fauna - vehículos, no hay claridad sobre su efectividad para evitar el atropellamiento de fauna silvestre (Luell, y otros, 2003), (van der Grift, Seiler, Rosell, & Semeonova, 2017). Y en estudios desarrollados en las vías de la Orinoquia colombiana se encontró que los conductores no necesariamente reconocen el mensaje de estas señales (Fundación Cunaguaro, comunicación personal). Esta situación se puede explicar debido a que las señales de tránsito no son necesariamente percibidas por los conductores, ya que los según resultados de estudios comportamentales, sólo del 5% al 25% de las señales verticales son observadas por los conductores (Johansson & Backlund, 1970), (Drory & Shinar, 1982), (Costa, y otros, 2014).

Adicionalmente, se ha demostrado que la comprensión de las señales de tránsito está fuertemente correlacionada con tres principios: familiaridad, estandarización, y compatibilidad entre el símbolo y el concepto (Shinar & Vogelzang, 2013), y que las señales de tránsito sólo pueden ser efectivas cuando los usuarios comprenden claramente su significado (Yuan, Ma, Lei, & Xu, 2014). Estas razones llevan a concluir que la diversidad de señales de tránsito orientadas a indicar la presencia de fauna silvestre también reduce la capacidad de los conductores para identificar el mensaje que se pretende transmitir.

Por lo anterior, para que la señalización de tránsito orientada a prevenir las colisiones vehículo – fauna silvestre, cumpla su propósito, se hace necesario unificar los modelos de señalización y establecer reglas claras para su utilización. Al respecto, se debe traer a colación que para aumentar la efectividad de la señalización, en la sección 1.7 del “Manual de señalización vial (Ministerio de Transporte, 2004) (Ministerio de Transporte, 2015) se establecen los siguientes criterios que debe cumplir toda señal de tránsito “para cumplir integralmente su objetivo”:

- a) ser necesaria.
- b) ser visible y llamar la atención.
- c) ser legible y fácil de entender.
- d) dar tiempo suficiente al actor del tránsito para responder adecuadamente.
- e) infundir respeto.
- f) ser creíble.

Adicionalmente, en el literal b del punto 1.8.1 del Manual de señalización vial (Ministerio de Transporte, 2015), establece que el diseño debe

asegurar que “Su forma, tamaño, colores y diagramación del mensaje se combinen para que este sea claro, sencillo e inequívoco”.

En virtud de lo establecido en el artículo tercero de la Ley 1383 de 2010, le corresponde al Ministerio de Transporte la responsabilidad de determinar los elementos y dispositivos de señalización vial para el territorio nacional, sin embargo, ante la ausencia de señales dedicadas a indicar la proximidad de un punto donde se puede encontrar fauna silvestre en la vía, y ante la proliferación de señales que con diferentes imágenes buscan suplir dicha ausencia, pero que por su heterogeneidad no entregan un mensaje claro, se hacen las siguientes recomendaciones:

- a) Reducir su diversidad por medio de la adopción en la normativa de tránsito nacional, de dos modelos estandarizados. Se sugiere emplear los siguientes:

Tabla 8: Propuesta de señalización para pasos de fauna

Categoría	Señal preventiva 1	Señal preventiva 2
Propósito	Indicar que durante el siguiente tramo con longitud X, se debe estar alerta para dar prioridad de paso a la fauna silvestre.	Alertar y prevenir sobre la presencia de cruces de fauna en la vía, con el propósito de que se reduzca la velocidad para evitar colisiones vehículo – fauna silvestre.
Modelo	Figura 88: Señal indicando la longitud del tramo con presencia de fauna silvestre, basada en una adaptación española de la señal P-24 de la comunidad europea.  Fuente: (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)	Figura 89: Señal preventiva para indicar la presencia de fauna silvestre terrestre, adoptada en Costa Rica.  Fuente: (Pomareda, y otros, 2014).

Propuesta	Usar como base las señales SP-33 y SP-47 A, de la norma colombiana de señalización de tránsito: Figura 90: Señales SP33 y SP47A Fuente: Manual de señalización vial (Ministerio de Transporte, 2015), Incluyendo la banda de los 3 animales de la señal preventiva 2 que se propone (con los cambios en 2 de las siluetas. Agregando una placa inferior que indique a que distancia empieza el área de paso de fauna. Utilizando como fondo el color amarillo de la mayoría de las señales preventivas. Figura 91: Señal Propuesta de señal preventiva para indicar cercanía a un paso de fauna silvestre.	De los 3 animales, dejar el venado en el centro (tiene presencia en todo el país y es carismático), y cambiar los otros dos, por siluetas (negras) de: - Zarigueya, por ser la especie con más registros de atropellamiento (en otro archivo va una opción de imagen para la silueta). - Primate, representando a las especies arborícolas, siguiendo el modelo de la siguiente señal (¿ligeramente erguido? La idea es que se note muy fácilmente que es un primate): Figura 92: Señal adaptada para indicar paso de primates.  Fuente: Darío Correa. Mantener las proporciones del modelo de Costa Rica, entre las siluetas y la señal, para que la superficie reflectiva sea suficientemente grande. Para mantener coherencia con la señal SP-49 de la norma colombiana, los animales deben estar caminando hacia la izquierda. Utilizar el color amarillo de las señales preventivas nacionales. Figura 93: Propuesta de señal preventiva para indicar la ubicación de un paso de fauna silvestre.
------------------	---	--

	 Fuente: Elaboración propia. Por debajo de la señal principal, como un complemento, un rectángulo tan ancho como el principal, en fondo blanco con reborde y letras negras que establezcan la distancia a la que empieza el área en que se puede encontrar fauna silvestre en la vía.	 Fuente: Elaboración propia Se mantienen, la forma de rombo, el reborde negro la representación vertical de la vía cruzada por la banda horizontal verde compuesta por líneas curvas, y la placa inferior de fondo amarillo, reborde y letras negras con la leyenda “Cruce de fauna”.
--	--	---

Fuente: Elaboración propia.

- b) Limitar su uso a los puntos donde se registran atropellamientos de fauna silvestre y/o a puntos donde los análisis de conectividad indican que habría riesgo de atropellamiento.
- c) Limitar el número de señales, a sólo una en cada sentido de tránsito para cada tramo en que se identifica la presencia de fauna silvestre en el corredor vial.
- d) Indicar al conductor lo que debe hacer, agregando advertencias de límites de velocidad (debidamente soportadas por las autoridades de tránsito y señalizadas) y elementos luminosos como luces intermitentes que aumenten su visibilidad y que sean activados únicamente durante los periodos de mayor actividad de la fauna en el área de la vía (Luell, y otros, 2003).
- e) Usar con medidas complementarias como elementos para la reducción de la velocidad de los vehículos (Luell, y otros, 2003), preferiblemente que induzcan vibración al vehículo como las bandas alertadoras.

- f) Utilizar como elementos provisionales hasta la construcción de un paso de fauna apropiado para las especies involucradas.

En donde se registren aumentos periódicos del riesgo de atropellamiento, se recomienda el uso de señales preventivas provisionales que indiquen la necesidad de reducir la velocidad, y de “señales de mensaje variable” (según la nomenclatura del Manual de señalización vial). El uso de estas herramientas como complemento de la señalización instalada de forma permanente genera importantes reducciones de las colisiones fauna-vehículo, llegando al 50% en algunos casos (Sullivan, Williams, Messmer, Hellinga, & Kyrychenko, 2004). En la Amazonia podría aplicarse para temporadas de lluvias en las que la fauna terrestre puede encontrar refugio y/o rutas de desplazamiento en la infraestructura vial que permanezca por encima del nivel del agua.

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).

El uso de señales que se activen mediante sistemas de detección de movimientos o detectores de calor ha probado ser efectivo para evitar colisiones entre vehículos y fauna de tamaño grande, permite alertar de la presencia de fauna a su alrededor aproximadamente 200 m gracias a las diferencias térmicas entre el cuerpo del animal y su entorno o por el movimiento. La efectividad de estas señales se basa principalmente en que no advierten de un riesgo potencial, sino de un peligro real, sin embargo, se debe tener en cuenta que estos sensores tendrían dificultades para detectar movimientos de fauna mediana y pequeña, y requieren absoluta ausencia de obstáculos en su campo de registro, (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015), por lo que su uso debe preferirse en zonas relativamente llanas donde la vegetación no sea obstáculo entre los animales y los sensores. De igual forma, se debe garantizar la conexión a una fuente de energía propia (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010; RACC, 2011).

El uso de la señalización debe acompañarse de estrategias de educación vial y ambiental, y de campañas de comunicación, para concientizar sobre la importancia de reducir la velocidad en las áreas de posible presencia de fauna silvestre, y para inducir cambios en actitudes comunes como la tendencia de algunos conductores a atropellar intencionalmente algunos grupos de fauna, principalmente serpientes.

7 Identificación de las tipologías de paso de fauna silvestre adecuadas para las especies focales.

Este capítulo se incluye como un ejemplo enfocado en las especies focales identificadas en el capítulo 5 de esta Guía, y por lo tanto, circunscrito a la región de la Amazonía colombiana.

7.1 Aves

En general tienen alta movilidad y mediante el vuelo podrían superar fácilmente las barreras de la infraestructura de transporte. Sin embargo, hay algunos grupos de especies con alta sensibilidad a la fragmentación de los ecosistemas, relacionada principalmente con limitaciones a cruzar áreas abiertas, razón por la cual la presencia de una vía con su faja de retiro genera una barrera que podría fragmentar la población, poniendo en riesgo la supervivencia de las especies.

Se destacan las limitaciones de dos grupos de aves para los cuales se requiere garantizar la presencia de pasos de fauna al desarrollar infraestructura de transporte en áreas predominantemente naturales de la Amazonia:

Tabla 9: Tipologías de pasos de fauna para aves identificadas como especies focales.

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Grandes frugívoros	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	No	Si	No	No
	Requerimientos: Para el caso de los grandes frugívoros con poca tendencia a volar como paujiles, se requieren estructuras exclusivas para paso de fauna, o mixtos (para paso de fauna y canalización de aguas), que garanticen pasos secos con suelo natural y cobertura vegetal de arbustos. La presencia de vegetación arbustiva a lo largo del paso de fauna, en el caso de pasos inferiores, implica un coeficiente o índice de apertura muy alto que garantice el ingreso de iluminación natural. Para el caso de los grandes frugívoros con buenas capacidades de vuelo como los trogones, el paso de un lado a otro de la vía se puede facilitar fomentando la presencia de árboles frutales (de especies locales) en puntos específicos de la faja de retiro (con la señalización y medidas de seguridad que sean necesarias), de modo que se disminuya la distancia a salvar entre las copas.					
Insectívoros de sotobosque	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	No	Condicionado	No	No
	Requerimientos: Teniendo en cuenta que algunas especies evitan cruzar áreas abiertas aún en longitudes de 7,5 metros, distancia que es inferior al ancho de una calzada sencilla de dos carriles según las especificaciones de Invia, las medidas para reestablecer la conectividad se limitan a pasos en los que haya presencia continua de arbustos, por lo que se requieren grandes coeficientes de apertura, y por lo tanto se preferirán estructuras tipo puente, viaducto o ecoducto.					

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Mamíferos

Los mamíferos como grupo taxonómico incluyen desde especies grandes rangos de hábitat como los grandes felinos, hasta especies con rangos de hábitat muy pequeños y con fuertes limitaciones a la movilidad como los perezosos. La información presentada en las páginas previas permite definir criterios para garantizar el paso seguro de un lado al otro de la vía, para especies de mamíferos afectados por el efecto de barrera que generan las carreteras, asumiendo que al cumplir estos criterios se estaría garantizando también el paso de las demás especies.

Tabla 10: Tipologías de pasos de fauna para mamíferos identificados como especies focales.

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Mamíferos: Hormigueros	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	Condicionado	Si	Si	No
	Requerimientos:					
	En general son muy móviles, pero teniendo en cuenta la posición de las manos al apoyarse para caminar, se considera poco probable que utilicen sustratos duros por largas distancias					
Mamíferos: Hormigueros	La especie de mayor tamaño, conocida como “oso palmero” (<i>Myrmecophaga trydactyla</i>) podría utilizar como pasos de fauna, desde alcantarillas grandes y bien ventiladas (tiene mala visión, pero muy buen olfato), hasta pasos superiores con vegetación y suelo natural, y lo mismo se estima para las especies del género Tamandúa (osos mieleros) que aun cuando puede subir árboles, no se caracteriza por desplazarse de un árbol a otro por las ramas.					
	La especie más pequeña (<i>Cyclopes didactylus</i>), de hábitos casi completamente arborícolas, podría utilizar pasos de fauna arbóreos, con requerimientos similares a los de los perezosos, es decir elementos rígidos o muy poco flexibles que se puedan utilizar para desplazarse colgando.					

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Mamíferos: Perezosos	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Condicionado	Si	Condicionado	No	No
	Requerimientos: Su desplazamiento se realiza principalmente colgando de las ramas, y aunque puede desplazarse en el suelo, lo hace con gran dificultad y exponiéndose a depredadores, razón por la cual los pasos de fauna para estas especies se limitan a puentes de dosel. Debe tenerse en cuenta que algunos estudios han concluido que prefieren desplazarse por ramas de 5 cm de diámetro (o más). El uso de pasos de fauna superiores e inferiores estará restringido a aquellas estructuras en las que se cuente con cobertura arbórea continua, permitiendo el paso ininterrumpido a través de ramas del grosor suficiente.					

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Mamíferos: Armadillos	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	No	Si	Si	Si
	Requerimientos: Por ser organismos que cavan y que utilizan madrigueras, podrían utilizar pasos de fauna inferiores con coeficientes de apertura relativamente reducidos (superior a 0,02), siempre y cuando permanezcan sin lámina de agua y libres de obstrucciones, por lo que se requieren mantenimientos rutinarios (debe tenerse en cuenta que el mantenimiento rutinario de estructuras con tan bajo coeficiente de apertura resulta dispendioso).					
	También utilizarían pasos de fauna más abiertos, por lo que no están restringidos a las estructuras de tipo alcantarilla.					
Mamíferos: Marsupiales	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	Si	Si	Si	Si
	Requerimientos: Las especies presentes en América son pequeñas y muy adaptables y no tendrían limitaciones para utilizar pasos de fauna inferiores estrechos, mientras no se encuentren obstruidos. Algunas especies podrían utilizar inclusive pasos de fauna parcialmente cubiertos por agua.					
	La chucha o fara (<i>Didelphis marsupialis</i>) es la de mayor tamaño, y podría utilizar fácilmente alcantarillas de 0,5m de diámetro, que en una longitud de 10m que equivalen a una calzada sencilla con sus bermas, implican un coeficiente de apertura de sólo 0,025.					

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Mamíferos: Primates	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Condicionado	Si	Condicionado	No	No
	Requerimientos: Su modo principal de desplazamiento está entre caminar por las ramas y avanzar balanceándose mientras cuelgan de ellas (braquiación). Por lo tanto, la solución de conectividad para los primates consiste en garantizar pasos a través de las ramas de los árboles o de estructuras similares, para lo cual se pueden emplear puentes de dosel, o pasos en los que se permita el crecimiento de árboles, como ecoductos y grandes pasos inferiores.					
Mamíferos: Dantas	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	No	Si	Condicionado	No
	Requerimientos: Son animales de tamaño grande, por lo que se requieren pasos de fauna con coeficientes de apertura de al menos 0,75, que deben estar ubicados en cercanía a cuerpos de agua y en lo posible, ser continuación de sus “caminaderos”.					

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Mamíferos: Saínos o pecaríes	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	No	Si	Condicionado	No
	Requerimientos: Además de ser animales grandes, suelen desplazarse en grupos, por lo que los pasos de fauna para ellos no deberían ser estructuras estrechas. Deben ser pasos con suelo natural y al igual que en el caso anterior, su efectividad aumentará si los pasos están ubicados como continuación de sus rutas habituales.					
Mamíferos: venado de cola blanca (<i>Odocoileus virginianus</i>)	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	No	Si	Condicionado	No
	Requerimientos: Los estudios en Virginia, Estados Unidos (Donaldson, 2005) muestran que los pasos inferiores utilizados por esta especie tienen al menos 3,65m (12 pies) de altura, cobertura arbórea al menos a 5 metros de los accesos de la estructura y deben permitir ver el hábitat al otro lado de la estructura. El estudio en mención indica que estructuras de menor altura pueden ser utilizadas por esta especie siempre y cuando sean suficientemente amplias para tener un coeficiente de apertura de al menos 0,25.					

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Mamíferos: Manatíes	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	No	No	Condicionado	Condicionado	No
	Requerimientos: Al ser organismos acuáticos y por sus dimensiones sólo utilizarán pasos de fauna acuática en las que la columna de agua tenga al menos 1,2m de profundidad, y baja velocidad de flujo. Estos pasos de fauna deben permitir la comunicación entre ríos y áreas lacustres y de inundación.					

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Reptiles

La información de las páginas anteriores, además de evidenciar la necesidad de establecer medidas de manejo que garanticen el paso seguro de las serpientes de un lado al otro de las carreteras, proporciona las bases necesarias para establecer requisitos mínimos de diseño para los pasos de fauna que podrían ser utilizados por este y por otros grupos de reptiles.

Tabla 11: Tipologías de pasos de fauna para reptiles identificados como especies focales.

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Reptiles: Serpientes	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	No	Si	Si	Si

	Requerimientos: En términos generales, las serpientes evitarán discurrir por superficies duras en la que los rastros olfativos suelen permanecer por menor tiempo, por lo que los pasos de fauna para ellas deben contar con un sustrato natural. Aparte de esa condición, podrían utilizar los diferentes tipos de pasos de fauna tanto superiores como inferiores, siendo la única excepción los pasos de fauna arbóreos, que si bien podrían ser utilizados por serpientes arborícolas, al estar demasiado expuestos tanto al sol como a depredadores se estima que serían poco utilizados.
--	--

Fuente: Elaboración propia.

7.4 Anfibios

La caracterización de los impactos de la infraestructura de transporte sobre los anfibios permite decantar criterios básicos para el diseño de pasos de fauna que puedan ser utilizados por este grupo.

Tabla 12: Tipologías de pasos de fauna para anfibios identificados como especies focales.

Grupos con limitaciones de movilidad	Criterios					
Anfibios: Ranas	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	Si	No	Si	Condicionado	Condicionado
	Requerimientos: Podrían utilizar diferentes tipos de pasos, incluyendo los de menor coeficiente de apertura, siempre y cuando se mantenga una humedad relativa alta que evite la deshidratación de la piel. Por la misma razón es recomendable generar espacios de alta humedad en las áreas de aproximación al paso de fauna. Las especies predominantemente arborícolas, como las ranas del género <i>Cochranella</i> (Centrolenidae) tendrían limitaciones para el uso de las estructuras más pequeñas (Alcantarillas y zanjas cubiertas), por					

	lo que ante la presencia de estas especies se debe optar por pasos que puedan incluir vegetación herbácea y arbustiva en su interior y por lo tanto, que cuenten con un mayor coeficiente de apertura.
--	--

Fuente: Elaboración propia.

7.5 Peces

Las consideraciones de pasos de fauna para peces se enfocan en permitir el paso en las estructuras que cruzan cuerpos de agua de menores dimensiones, ya sean permanentes o estacionales, y que suelen ser cruzados utilizando estructuras hidráulicas menores como alcantarillas y box-culvert, o en los casos más críticos, terraplenes que cortan completamente el flujo del agua.

Tabla 13: Criterios biológicos para el diseño de pasos de fauna para peces.

Tabla 13. Criterios biológicos para el diseño de pases de fauna para peces.						
Grupos con limitaciones de movilidad		Criterios				
Peces	Tipos de estructura que utilizarían					
	Tipo	Ecoducto	Puente de dosel	Viaductos, puentes, pontones y box culverts grandes	Alcantarillas	Zanjas cubiertas
	Uso	No	No	Si	Si	No
	Requerimientos:					
	Las estructuras deben garantizar el paso del agua manteniendo las condiciones naturales de velocidad, caudal y profundidad, al igual que las condiciones de los márgenes u orillas del cuerpo de agua, de modo tal que aún los peces sin adaptaciones para luchar contra la corriente puedan hacer el cruce de forma segura encontrando remansos en el trayecto. Cuando no sea posible mantener las orillas, se deben incluir elementos dentro del agua, que generen los remansos. Adicionalmente, se debe garantizar la conectividad del cauce en los puntos de entrada y salida de la estructura, evitando (o corrigiendo, de ser necesario) procesos de socavación.					
En los casos de cauces temporales que comunican cuerpos de agua principales con áreas naturalmente inundables, se debe garantizar el flujo normal del agua en periodos de inundación,						

	En las canalizaciones de cauces lóticos para vías fluviales, se deben garantizar áreas de remansos, y las obras hidráulicas deben garantizar la permanencia de la dinámica de sedimentación natural, tanto en áreas de remansos naturales como en áreas de bancos de arena, especialmente en las asociadas a desembocaduras de afluentes.
--	---

Fuente: Elaboración propia.

8 Elementos de base para un análisis financiero de los pasos de fauna silvestre.

8.1 Costos generales de una carretera:

Previo al análisis del cálculo de las cantidades de obra y presupuesto de los pasos de fauna, es necesario presentar la clasificación que estipula el Invia en el numeral “1.2. Clasificación de carreteras”, del Manual de diseño geométrico de carreteras (Instituto Nacional de Vías - Invia, 2008), donde se establece que las carreteras se clasifican según su funcionalidad y según el tipo de terreno por donde discurren. A continuación, en la siguiente tabla se presenta dicha clasificación.

Tabla 14: Clasificación de las carreteras

Según su funcionalidad.	Primarias	Troncales, transversales y accesos a capitales de departamentos, se consideran deben funcionar pavimentadas.
	Secundarias	Unen cabeceras municipales y/o conectan con una vía primaria, pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.
	Terciarias	Unen cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas, deben funcionar en afirmado, si se pavimentar deben cumplir las condiciones de una vía secundaria.
Según el tipo de terreno (topografía predominante).	Plano	Pendientes transversales al eje la vía menor a 5°, mínimo movimiento de tierras durante la construcción, pendientes longitudinales normalmente menores de (3%), el alineamiento permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.
	Ondulado	Pendientes transversales al eje de la vía entre 6° - 13°, requiere moderado movimiento de tierras durante la construcción, pendientes longitudinales 3% - 6%, el alineamiento obliga a los vehículos pesados a reducir velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos livianos.
	Montañoso	Pendientes transversales al eje de la vía entre 13° - 40°, requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación, pendientes longitudinales entre 6% - 8%), alineamiento obliga a los vehículos pesados a operar a bajas velocidades en rampa durante

		distancias considerables y en oportunidades frecuentes.
	Escarpado	Pendientes transversales al eje de la superiores a 40°, demandan el máximo movimiento de tierras durante la construcción, grandes dificultades en el trazado y en la explanación, generalmente sus pendientes longitudinales son superiores a 8%, alineamiento obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que en aquellas a las que operan en terreno montañoso.

Fuente: Adaptado de (Instituto Nacional de Vías - Invia, 2008)

Con el objeto de hacer una valoración de la incidencia real de los costos en que se incurre al implementar pasos de fauna en proyectos de construcción de vías y/o en los proyectos de intervención de vías existentes, es necesario definir previamente los tipos de contratos y proyectos donde aplicaría la implantación de estas obras: construcción, mantenimiento periódico y/o conservación, mejoramiento, pavimentación, rehabilitación, entre otros. A continuación, se presentará una descripción del alcance de cada una de esas intervenciones, junto con una estimación general de costo por kilómetro de intervención,

Tabla 15: Tipología de proyectos y costo estimado por kilómetro de intervención (Valores expresados en pesos colombianos, calculados con una tasa de cambio a dólares estadounidenses, de \$3.750 pesos por dólar).

Tipo de proyecto	Descripción	Costos estimados por kilómetro
Construcción	Construcción de una nueva infraestructura, donde no existía una y representa un aumento en la malla vial. Incluye el conjunto de todas las obras de infraestructura a ejecutar en una vía, proyectadas en un tramo faltante mayor al 30% de una vía existente y/o en variantes. Se consideran también como proyectos de construcción, las segundas calzadas, pares viales o calzadas adosadas a calzadas existentes, puentes.	- \$15.000.000.000 - \$30.000.000.000 /Km para terreno montañosos y escarpado (incluye predios); en calzada sencilla. - \$12.000.000.000 /Km para terreno ondulado (incluye predios); calzada sencilla. - \$8.000.000.000 / Km para terreno plano (incluye predios). - \$26.500.000.000 - \$65.000.000.000 /Km para terreno montañosos y escarpado (incluye predios; en doble calzada.

		- Carreteras Secundarias en asfalto: \$1.100.000.000 - \$5.250.000.000. - Carreteras Terciarias en asfalto (normalmente no se asfaltan): \$1.100.000.000 - \$3.200.000.000. - Carreteras Terciarias en huellas de concreto (placa huella): \$785.000.000 - \$1.250.000.000 - Puentes: \$4.000.000/m² - \$12.000.000/m². - Túneles: \$20.000.000 /m para tipo A1- \$55.000.000/m para tipo E2, para secciones de túnel entre 68 m² sin solera – hasta 110 m² con solera.
Mantenimiento periódico y/o proyectos de conservación	Se entiende por proyectos de mantenimiento periódico, el conjunto de todas las obras a ejecutar en una vía, que se realizan en vías pavimentadas y/o en vías en afirmado, que comprende la realización de actividades de conservación y/o mantenimiento periódico, a intervalos variables, relativamente prolongados, destinados primordialmente a recuperar los deterioros de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y/o por fenómenos climáticos, también podrá contemplar la construcción de algunas obras de protección, faltantes en la vía. Las principales actividades son: reconformación y recuperación de la banca; limpieza mecánica y reconstrucción de cunetas; escarificación del material de afirmado existente; extensión y compactación de material para recuperación de los espesores de afirmado iniciales;	- \$200.000.000.000 /km/año para terreno montañoso y escarpado - \$120.000.000.000 /km/año para terreno ondulado y plano

	reposición de pavimento en algunos sectores; bacheo y/o parcheo. Reconstrucción de obras de drenaje; construcción de obras de protección y drenajes; demarcación lineal; señalización vertical	
Mejoramiento	Proyectos que tienen por objeto mejorar las especificaciones técnicas de la infraestructura de transporte existente, o mejorar los niveles de servicio para los cuales se concibió inicialmente. Se trata de proyectos que por condiciones especiales de demanda u otras condiciones de planificación, se hace necesario mejorar sus condiciones de servicio.	- \$3.500.000.000 /km para terreno montañoso y escarpado (incluye estructura de pavimento completa, 10 obras de drenaje, obras en concreto, estabilización de taludes, puentes, sin predios).
Pavimentación	Proyectos que tienen por objeto mejorar las especificaciones técnicas de la estructura de pavimento existente, garantizando la prestación del servicio de acuerdo a las necesidades actuales y futuras del corredor vial.	- \$1.150.000.000 /km para vía primaria (no incluye obras de estabilización taludes, ni obras de drenaje, ni puentes). - \$600.000.000 /km para vía secundaria (no incluye obras de estabilización taludes, ni obras de drenaje, ni puentes).
Rehabilitación	Proyectos destinados a la reconstrucción de infraestructura de transporte existente, cuya condición de operación ha sufrido deterioro y por tanto su nivel de servicio es inferior al nivel para el cual fue diseñado y construido el proyecto. En este tipo de proyectos se considera la reconstrucción total o parcial de la infraestructura existente, con el fin de recuperar su nivel de servicio.	- \$1.300.000.000 /km, la intervención se hace unos 10 años después de construida la vía. Incluye estructura de pavimento completa, 10 obras de drenaje, obras en concreto, estabilización de taludes, puentes, (sin predios)
A1Reemplazo de puentes vehiculares	Proyectos que tienen por objeto construir un nuevo puente en el mismo lugar o en otro seleccionado de acuerdo con el alineamiento de la vía prestando la	- \$60.000.000 /m, Incluye: cimentación, estribos, pilas, superestructura, rodadura, barandas.

	misma conectividad, y con el fin de mejorar la prestación del servicio de acuerdo a las necesidades actuales y futuras del corredor vial.	
--	---	--

Fuente: Elaboración propia, a partir de costos territoriales del Invia (Los valores aquí reportados son simplemente de referencia y corresponden a la experiencia de esta consultoría).

8.2 Costo relativo de los pasos de fauna silvestre

Teniendo en cuenta los ejemplos de costos señalados para cada tipología de pasos de fauna, y los costos de intervención por kilómetro señalados en la tabla anterior, se presentan dos casos para ejemplificar el costo relativo de los pasos de fauna dentro de los costos de un proyecto vial:

Caso 1:

Se va a licitar el contrato de rehabilitación de una carretera de 5 km de longitud en la Amazonia, y se requiere incorporar 2 pasos de fauna por kilómetro de los cuales se tienen las siguientes tipologías para ser adaptadas como pasos de fauna: 7 alcantarillas de Ø 0,90 m, 1 pontón de 8 m, 2 box culvert de 4 m X 3 m y 10 estructuras de barreras metálicas.

- La rehabilitación para los 5 km tienen un costo de \$6.500.000.000 aproximadamente,
- Al totalizar los costos de intervención, para incluir en el proyecto vial los 10 pasos de fauna, se tiene que los costos de implantación son de \$1.291.148.944.

La incidencia de inclusión de las tipologías de pasos de fauna presentados en este documento es alta, puesto que implicarían un 19,86% adicional al valor de las obras. Este incremento se debe a la inclusión de demoliciones, excavaciones, remoción de tuberías, demolición e instalación de nueva estructura de pavimento, entre otros.

Es más económico conservar las obras existentes sin removerlas, y construir unas nuevas obras de manera individual, cuyo costo ascendería a \$762.480.778, siendo la incidencia sobre el costo total del proyecto de un 11,73%.

Caso 2:

Se va a licitar la construcción de una nueva carretera de 5 km de longitud en la Amazonia, y se requiere incorporar 2 estructuras de pasos de fauna por kilómetro de los cuales se tienen las siguientes tipologías: 7 alcantarillas de Ø 0,90 m, 1 pontón de 8 m, 2 box culvert de 4 m X 3 m y 10 estructuras de barreras metálicas.

- La construcción para los 5 km tiene un costo de \$60.000.000.000 aproximadamente,
- Al totalizar los costos de intervención, para incluir en el proyecto vial los 10 pasos de fauna, se tiene que los costos de implantación son de \$762.480.778.

La incidencia de inclusión de las tipologías de pasos de fauna en un proyecto nuevo es baja, puesto que, al incorporar las obras desde la planeación inicial del proyecto, el incremento en costo frente a un proyecto sin pasos de fauna sería de sólo el 1,27%.

8.3 Fuentes y mecanismos de financiación

En términos generales, se estima que el financiamiento del diseño, construcción, montaje, adecuación, mantenimiento y monitoreo de los sistemas de pasos de fauna silvestre en proyectos de construcción vial, debería contemplarse por parte de las entidades (Ministerio de Transporte, DNP, Gobernaciones y Alcaldías, entre otros) desde la evaluación de la prefactibilidad de los proyectos carreteros, y mantenerse a lo largo de las demás etapas de planeación hasta llegar en Fase III o Estudios y Diseños Definitivos para Construcción, con estos costos incluidos de forma precisa.

La estimación de los costos que implica la implementación de sistemas de pasos de fauna silvestre y la ejecución de las obras asociadas a ellos, desde instancias tempranas de la planificación y la ejecución de las obras, se materializa, en el mediano y largo plazo, en proyectos más económicos que si tal planeación y ejecución se realiza de forma reactiva y tardía.

Es necesario que en los Proyectos de Concesión Vial se empiece a incluir Lineamientos de Infraestructura Verde Vial (LIVV), y particularmente la incorporación de pasos de fauna. Es incomprensible que proyectos de más de USD\$500.000.000 no cuenten dentro de su estructuración y posterior construcción la construcción de Sistemas de pasos de fauna.

Para corredores viales existentes, y teniendo en cuenta el impacto que pueda tener sobre el costo total de las obras, se recomienda utilizar otros mecanismos, como son utilizar la provisión que se tiene para la implementación del Plan de Adaptación de la Guía de Manejo Ambiental del Subsector Vial (PAGA) (normalmente los contratos con entidades como Invias, Secretarías de Infraestructura departamentales y municipales, incluyen un valor o porcentaje para ajustes, obras complementarias, obras adicionales, obras ambientales del PAGA, entre otros). Se recomienda destinar los recursos necesarios y suficientes tanto para la gestión ambiental integral del proyecto como para la construcción de pasos de fauna.

Se recomienda revisar y analizar la posibilidad de utilizar hasta el 10% de los recursos de regalías de minería y explotación de hidrocarburos, así como de líneas de transmisión de energía y poliductos, en la implementación de LIVV y Sistemas de pasos de fauna.

A través de cooperación y/o financiación con la Banca Multilateral (CAF, BID, Banco Mundial, IFC, BID Investment) para proyectos de gran impacto sobre la biodiversidad en la Amazonia, implementando las Políticas de Salvaguardas Ambientales de la Banca Multilateral a todos los proyectos en la Amazonia.

En relación con la participación de terceros, se sugiere involucrar la participación del sector privado y productivo como ejecutores y financiadores de las obras, compensando y otorgando bonos descontados de impuestos a los contribuyentes.

8.4 Recomendaciones

La incorporación de estas obras, mediante la intervención temprana desde las etapas de prefactibilidad y factibilidad, incide notablemente en la reducción de costos de los proyectos, es así como es necesario hacer el llamado para incorporar dentro de los Requerimientos Técnicos de los Estudios y Diseños del Invia, ANI y Secretarías de Infraestructura departamentales y municipales, entre otros, los pasos de fauna y los LIVV. Igualmente, es necesario incorporarlos dentro de los formularios de cantidades de obra, presupuesto y documentos de licitación de obras, para que su implantación no implique un costo adicional dentro de los contratos de obra, y sea una realidad su construcción.

Dentro del análisis que debe hacerse en una etapa posterior de este documento, está el análisis de sensibilidad de la relación costo / beneficio por la implementación de estas obras. En esa matriz de análisis deberán incluirse, además de los costos de construcción, elementos como los costos de transporte, de operación y mantenimiento de la vía, los pasivos ambientales, los costos evitados por cierre de las vías, la valoración económica de atropellamientos de fauna, los beneficios ambientales de tener ecosistemas viables en el mediano y largo plazo (permanencia de las especies y de los servicios ambientales), y la reducción de costos de mantenimiento que se asocia al aumento de capacidad hidráulica de las estructuras.

9 Bibliografía

- Abra, F. D., Huijser, M. P., Pereira, C. S., & Ferraz, K. (2018). How reliable are your data? Verifying species identification of road-killed mammals recorded by road maintenance personnel in São Paulo State, Brazil. *Biological Conservation*, 225, 42-52.
- Adárraga Caballero, M. A., & Gutiérrez Moreno, L. C. (2017). Mortalidad de vertebrados silvestres en dos segmentos de la carretera troncal del Caribe a su paso a través de dos ecosistemas de interés biológico en la costa Caribe colombiana (Magdalena). *Memorias III seminario internacional de ciencias ambientales SUE-Caribe* (págs. 169-173). Barranquilla: Universidad del Atlántico.
- Adler, G. H., Arboledo, J. J., & Travi, B. L. (2010). Population dynamics of *Didelphis marsupialis* in northern Colombia. *Studies Neotropical Fauna and Environment*, 32, 7-11. doi:10.1076/snfe.32.1.7.13462.
- Ahmed, S. E., Lees, A. C., Moura, N. G., Gardner, T. A., Barlow, J., Ferreira, J., & Ewers, R. M. (2018). Road networks predict human influence on Amazonian bird communities. *Proceedings of the Royal Society B*, 281, 1-9. doi:dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.1742.
- Alagmir, M., Campbell, M. J., Sloan, S., Goosem, M., Clements, G. R., Mahmoud, M. I., & Laurance, W. F. (2017). Economic, Socio-Political and Environmental Risks of Road Development in the Tropics. *Current Biology*, 27, 1130-1140.
- Álvarez, M., Umaña, A. M., Mejía, G. D., Cajiao, J., von Hildebrand, P., & Gast, F. (2003). Aves del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, Amazonía - Provincia de la Guyana, Colombia. *Biota Colombiana*, 49-63.
- Aresco, M. J. (2003). Highway mortality of turtles and other herpetofauna at Lake Jackson, Florida, USA, and the efficacy of a temporary fence/culvert system to reduce roadkills. *Proceedings of the 2003 International Conference on Ecology and Transportation* (págs. 433-449). Raleigh, North Carolina, USA: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University.
- Arévalo, J. E., & Newhard, K. (2011). Traffic noise affects forest bird species in a protected tropical forest. *Revista de biología tropical*, 59(2), 969-980.
- Arroyave, M. d., Gomez, C., Gutierrez, M. E., Múnera, M. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., . . . Ramos, K. C. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *Revista EIA - Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 45-57.
- Bank, A. D. (2011). *India: Preparing the Bihar urban development project - Underwater noise impacts on Ganges river dolphin*. Bihar, India: Asian Development Bank.
- Baraloto, C., Alverga, P., Báez, S., Barnes, G., Bejar, N., Da Silva, I., . . . Perz, S. (2015). Effects of road infrastructure on forest value across a tri-national Amazonian frontier. *Biological conservation*, 191, 374-381.

- Beebee, T. J. (2013). Effects of Road Mortality and Mitigation Measures on Amphibian Populations. *Conservation Biology*, 00(0), 1-12. doi:10.1111/cobi.12063.
- Beisiegel, B. d. (2007). Foraging association between coatis (*Nasua nasua*) and birds of the Atlantic Forest, Brazil. *Biotropica*, 39(2), 283-285. doi:10.1111/j.1744-7429.2006.00255.x.
- Bellis, M. (2008). *Evaluating the effectiveness of wildlife crossing structures in Southern Vermont*. Amherst, USA: University of Massachusetts.
- Benítez-López, A., Alkemade, R., & Verweij, P. A. (2010). The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biological Conservation*, 143, 1307-1316.
- Benten, A., Hothorn, T., Vor, T., & Ammer, C. (2018). Wildlife warning reflectors do not mitigate wildlife-vehicle collisions on roads. *Accident Analysis and Prevention*, 120, 64-73.
- BirdLife international. (09 de 12 de 2018). *Data Zone: Parque Nacional Natural Chiribiquete*. Obtenido de Birdlife International: Data zone: Parque Nacional Natural Chiribiquete: <http://datazone.birdlife.org/eba/factsheet/319>.
- BirdLife International. (09 de 12 de 2018). *Data Zone: Riberas del río Duda*. Obtenido de Birdlife International: Data zone: Riberas del río Duda: <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/19073>.
- Blanco-Parra, M. d., & Bejarano-Rodríguez, I. (septiembre de 2006). Alimentación y reproducción de las principales especies ícticas del río Mesay durante el período de "aguas altas". *Revista de Biología Tropical*, 54(3), 853-859.
- Bliss-Ketchum, L. L., de Rivera, C. E., Turner, B. C., & Weisbaum, D. M. (2016). The effect of artificial light on wildlife use of a passage structure. *Biological Conservation*, 199, 25-28.
- Bogotá-Gregory, J. D., & Maldonado-Ocampo, J. A. (2006). Peces de la zona hidrogeográfica de la Amazonía, Colombia. *Biota Colombiana*, 7(1), 55-94.
- Bodin, O., & Saura, S. (2010). *Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch removal experiments*. *Ecological Modelling*, 221, 2393-2405. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.06.017>
- Bouchard, J., Ford, A. T., Eigenbord, F. E., & Fahrig, L. (2009). Behavioral Responses of Northern Leopard Frogs (*Rana pipiens*) to Roads and Traffic: Implications for Population Persistence. *Ecology and Society*, 14(2), 1-10. Obtenido de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art23/>.
- Bovo, A. A., Ferraz, K. M., Magioli, M., Alexandrino, E. R., Hasui, É., Ribeiro, M. C., & Tobias, J. A. (2014). Habitat fragmentation narrows the distribution of avian functional traits associated with seed dispersal in tropical forest. *Perspectives in ecology and conservation*, 16, 90-96.
- Branden, A. W., Lopez, R. L., Roberts, C. W., Silvy, N. J., Owen, C. B., & Frank, P. A. (2008). Florida Key deer *Odocoileus virginianus clavium* underpass use and movements along a highway corridor. *Wildlife Biology*, 14, 155-163.
- Brooks, D. M. (2006). The utility of hotspots identification for forest management: cracids as bioindicators. *Acta Zoologica Sinica*, 52 (supplement), 199-201.

- Brooks, D. M., & Strahl, S. D. (2000). *Curassows, Guans and Chachalacas. Status Survey and Conservation Action Plan for Cracids 2000–2004*. Cambridge, UK: IUCN Publication Services Unit.
- Brown, G. P., Phillips, B. L., Webb, J. K., & Shine, R. (2006). Toad on the road: Use of roads as dispersal corridors by cane toads (*Bufo marinus*) at an invasion front in tropical Australia. *Biological Conservation*, 133, 88-94. doi:10.1016/j.biocon.2006.05.020.
- Brum, T. R., Santos-Filho, M., Canale, G. R., & Ignacio, A. R. (2018). Effects of roads on the vertebrates diversity of the Indigenous Territory Paresi and its surrounding. *Brazilian Journal of Biology*, 78(1), 125-132. doi:10.1590/1519-6984.08116.
- Brumm, H. (2004). the impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology*, 73, 434-440.
- Bunkley, J. P., McClure, C. J., Kleist, N. J., Francis, C. D., & Barber, J. R. (2015). Anthropogenic noise alters bat activity levels and echolocation calls. *Global ecology and conservation*, 3, 62-71. doi:10.1016/j.gecco.2014.11.002.
- Cadena, D. C., Alvarez, M., Parra, J. L., Jiménez, I., Mejía, C. A., Santamaría, M., . . . Londoño, G. A. (2000). The birds of CIEM, Tinigua National Park, Colombia: an overview of 13 years of ornithological research. *Cotinga*, 13, 46-54.
- California Department of Transportation. (2007). *Wildlife Crossings Guidance Manual*. Davies, California: University of California.
- Canaday, C. (1997). Loss of insectivorous birds along a gradient of human impact in Amazonia. *Biological Conservation*, 77, 63-77.
- Chaves, M. E., Santamaría, M., & Sánchez, E. (2007). *Alternativas para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes colombianos. Resultados 2002-2007*. Bogotá, Colombia: Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., Bucchi, A., & Dondi, G. (2014). Looking behavior for vertical road signs. *Transportation research part F*, 23, 147-155.
- Cruz, P., Paviolo, A., Bó, R. F., Thompson, J. J., & Di Bitetti, M. S. (.2014). Daily activity patterns and habitat use of the lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in the Atlantic Forest. *Mammalian biology*, 79, 376-383. doi:10.1016/j.mambio.2014.06.003.
- CTC & Associates. (2018). *Using mussel spat rope to facilitate small fish passage in culverts*. Saint Paul, Minnesota, USA: Minnesota Department of Transportation.
- Cui, J., Chen, W., Newman, C., Han, W., Buesching, C., Macdonald, D., . . . Zhou, Y. (2018). Roads disrupt rodent scatter-hoarding seed-dispersal services: implication for forest regeneration. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 34, 102-108. doi:10.1016/j.ppees.2018.08.006.
- Cunnington, G. M., & Fahrig, L. (2010). Plasticity in the vocalizations of anurans in response to traffic noise. *Acta Oecologica*, 36, 463-470. doi:10.1016/j.actao.2010.06.002.

- D'Angelo, G., & Van der Ree, R. (2015). Use of reflectors and auditory deterrents to prevent wildlife-vehicle collisions. En R. Van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (pág. 522). Chichester, West Sussex, UK.: John Wiley & Sons.
- David, B. O., Tonkin, J. D., Taipeti, K. W., & Hokianga, H. T. (2014). Learning the ropes: mussel spat ropes improve fish and shrimp passage through culverts. *Journal of applied ecology*, 51, 214-223. doi:10.1111/1365-2664.12178
- de la Ossa, J., & Galván-Guevara, S. (2015). Registro de la mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo - ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombiana*, 16(1), 67-77.
- de la Ossa-Nadjar, O., & de la Ossa, J. (2013). Fauna silvestre atropellada en dos vías principales que rodean los Montes de María- Sucre- Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 5(1), 158-164.
- Defler, T. R. (2010). *Historia natural de los primates colombianos*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Defler, T. R. (2013). Species richness, densities and biomass of nine primate communities in eastern Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de ciencias*, XXXVII(143), 253-262.
- Delgado Vélez, C. A. (2014). Adiciones al atropellamiento vehicular de mamíferos en la vía de El Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. *Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 1122, 147-153.
- Department of Transport and Main Roads. (2010). *Fauna Sensitive Road Design Manual, Volume 2: Preferred Practices* (Vol. 2). Brisbane, Queensland, Australia. Obtenido de <https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications>.
- Desbiez, A. L., & Medri, I. M. (2010). Density and Habitat use by Giant Anteaters (*Myrmecophaga tridactyla*) and Southern Tamanduas (*Tamandua tetradactyla*) in the Pantanal, Tamanduas (*Tamandua tetradactyla*) in the Pantanal. (S. a. IUCN/SSC Anteater, Ed.) *Edentata*, 4-10. doi:http://dx.doi.org/10.1896/020.011.0102.
- Di Fiore, A. (2003). Ranging Behavior and Foraging Ecology of Lowland Woolly Monkeys (*Lagothrix lagotricha poeppigii*) in Yasuni National Park, Ecuador. *American Journal of Primatology*, 47-66.
- Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. (2018). *Manual de compensación del componente biótico*. Bogotá, Colombia: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.
- Donaldson, B. M. (2005). *The use of highway underpasses by large mammals in Virginia and factors influencing their effectiveness*. Richmond, Virginia, Estados Unidos.: Virginia Department of Transportation .
- Dood, C. K., Barichivich, W. J., & Smith, L. L. (2004). Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation*, 118, 619-631. doi:10.1016/j.biocon.2003.10.011.
- Drory, A., & Shinar, D. (1982). The effects of roadway environment and fatigue on sign perception. *Journal of safety research*, 13, 25-32.

- Eigenbrod, F., Hecnar, S. J., & Fahring, L. (2009). Quantifying the Road-Effect Zone: Threshold Effects of a Motorway on Anuran Populations in Ontario, Canada. *Ecology and Society*, 14(1), 1-18. Obtenido de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art24/>.
- Farhadinia, M. S., Hunter, L. T., Jourabchian, A., Hosseini-Zavarei, F., Akbari, H., Ziaie, H., . . . Jowkar, H. (2015). The critically endangered Asiatic cheetah *Acinonyx jubatus venaticus* in Iran: A review of recent distribution and conservation status. *Biodiversity Conservation*, 2017(26), 1027-1046. doi:DOI 10.1007/s10531-017-1298-8.
- Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation. (2011). *Wildlife crossings Structure handbook. Design and evaluation in North America*. (A. P. Clevenger, Ed.) Lakewood, Colorado, Estados Unidos: U.S. Department of Transportation.
- Federal Highway Administration. (2008). *Wildlife-vehicle collision reduction study. Report to Congress*. Bozeman, Montana: U.S. Department of Transportation.
- Forman, R. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 29, 207-231.
- Franco, A. M., & Santamaría, M. (1995). Area vital, hábitos alimenticios y otros aspectos de historia natural del paujil Mitu Salvini. *Congreso internacional sobre el manejo de fauna en la Amazonía* (págs. 267-282). Iquitos, Perú: Congreso internacional sobre el manejo de fauna en la Amazonía.
- García, M. J., Medici, E. P., Naranjo, E. J., Novarino, W., & Leonardo, R. S. (2012). Distribution, habitat and adaptability of the genus Tapir. *Integrative Zoology*, 7, 346-355. doi:10.1111/j.1749-4877.2012.00317.x.
- García-Toro, L. C., Link, A., Páez-Crespo, E. J., & Stevenson, P. R. (2019). Home range and daily traveled distances of highland colombian woolly monkeys (*Lagothrix lagothricha lugens*): comparing spatial data from GPS collars and direct follows. En R. Reyna-Hurtado, & C. A. Chapman, *Movement ecology of neotropical forest mammals. Focus on social animals* (pág. 274). Suiza: Springer International Publishing.
- Gaudin, T. J., Hicks, P., & Di Blanco, Y. (2018). *Myrmecophaga tridactyla* (Pilosa: Myrmecophagidae). *Mammalian Species*, 50(956), 1-13. doi:10.1093/mspecies/sey001.
- Glista, D. J., DeVault, T. L., & DeWoody, J. A. (2009). A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning*, 91, 1-7. doi:10.1016/j.landurbplan.2008.11.001.
- Gonzales Delgado, T. M. (2016). *Movimiento de Tapirus terrestres en la parte media del río Caquetá - Amazonía colombiana*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Goosem, M., Harding, E. K., Chester, G., Tucker, N., Harris, C., & Oakley, K. (2010). *Roads in rainforest: Best practice guidelines for planning, design and management*. Cairns, Australia, Australia: Reef and rainforest research centre Limited.

- Grant, J., Seymour, C., & Foord, S. (2017). The effect of infrastructure on the invasion of a generalist predator: Pied crows in southern Africa as a case-study. *Biological Conservation*, 205, 11-15.
- Gregory, T., Charrasco-Rueda, F., Alonso, A., Kolowski, J., & Deichmann, J. L. (2017). Natural canopy bridges effectively mitigate tropical forest fragmentation for arboreal mammals. *Scientific reports*, 7, 1-11. doi:0.1038/s41598-017-04112-x.
- Guariguata, M. R., & Kattan, G. H. (2002). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Costa Rica: Libro Universitario Regional (EULAC-GTZ).
- Hayssen, V. (2010). *Bradypus variegatus* (Pilosa: Bradypodidae). *Mammalian species*, 42(850), 19-32.
- Hayssen, V. (2011). *Tamandua tetradactyla* (Pilosa: Myrmecophagidae). *Mammalian Species*, 43(875), 64-74. doi:10.1644/875.1.
- Hels, T., & Buchwald, E. (2001). The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation*, 99, 331-340.
- Hilty, S. L., & Brown, W. L. (2001). *Guía de las aves de Colombia* (1 ed.). (H. Álvarez López, Trad.) Bogotá: Asociación Colombiana de Ornitología.
- Hobday, A. J., & Minstrell, M. L. (2008). Distribution and abundance of roadkill on Tasmanian highways: human management options. *Wildlife research*, 35, 712-726. doi:10.1071/WR08067.
- Hoskin, C. J., & Goosem, M. W. (2010). Road Impacts on Abundance, Call Traits, and Body Size of Rainforest Frogs in Northeast Australia. *Ecology and Society*, 15(3), 1-15. Obtenido de <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art15/>.
- Huijser, M. P., Mosler-Berger, C., Olsson, M., & Strein, M. (2015). Wildlife warning signs and animal detection systems aimed at reducing wildlife-vehicle collisions. En R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (pág. 522). Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Ibisch, P. L., Hoffmann, M. T., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., . . . Selva, N. (2016). A global map of roadless areas and their conservation status. *Science*, 354(6318), 1423-1427. doi:10.1126/science.aaf7166
- Instituto Amazónico de investigaciones científicas - Sinchi. (2000). *Peces de importancia económica en la cuenca amazónica colombiana*. Bogotá: Scripto Ltda.
- Instituto Nacional de Vías -Invias. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Invias, I. N. (2011). *Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura, subsectos vial-*. Bogotá: Somos Impresores Ltda.
- Johansson, G., & Backlund, F. (1970). Drivers and road signs. *Ergonomics*, 13, 749-759.
- Judas, J., & Henry, O. (1999). Seasonal variation of home range of collared peccary in tropical rain forests of French Guiana. *Journal of Wildlife Management*, 63(2), 546-552.

- Karlson, M. (2015). *Road ecology for environmental assessment - PhD thesis*. Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology (KTH).
- Kattan, G. H., Alvarez-López, H., & Giraldo, M. (1994). Forest fragmentation and bird extinctions: San Antonio eighty years later. *Conservation Biology*(8), 138-146.
- Kattan, G. H., Muñoz, M. C., & Kikuchi, D. W. (2016). Population densities of curassows, guans, and chachalacas (Cracidae): Effects of body size, habitat, season, and hunting. *The Condor*, 118, 24-32. doi:0.1650/CONDOR-15-51.1
- Kaur, H., Torma, A., Galle-Szpisjak, N., Seat, J., Lorinczi, G., Módra, G., & Gallé, R. (2019). Road verges are important secondary habitats for grassland arthropods. *Journal of insect conservation*, 23, 899-907. doi:10.1007/s10841-019-00171-9.
- Keller, G., & Sherar, J. (2004). *Ingeniería de caminos rurales: Guía de campo para las mejores prácticas de administración de caminos rurales*. México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Keuroghlian, A., Eaton, D. P., & Longland, W. S. (2004). Area use by white-lipped and collared peccaries (Tayassu pecari and Tayassu tajacu) in a tropical forest fragment. *Biological Conservation*, 120, 411-425.
- King, E. A., & Murphy, E. (2016). Environmental noise - "Forgotten" or "ignored" pollutant? *Applied acoustics*, 112, 211-215. doi:10.1016/j.apacoust.2016.05.023.
- Kroll, G. (2015). An Environmental History of Roadkill: Road Ecology and the Making of the Permeable Highway. *Environmental History*, 20, 4-28. doi:10.1093/envhis/emu129.
- Lee, J. A., Chon, J., & Ahn, C. (2014). Planning landscape corridors in ecological infrastructure using least-cost path methods based on the value of ecosystem services. *Sustainability*, 6, 7564-7585. doi:10.3390/su6117564.
- Lees, A. C., & Peres, C. A. (2009). Gap-crossing movements predict species occupancy in Amazonian forest fragments. *Oikos*, 118, 280-290. doi:10.1111/j.1600-0706.2008.16842.x.
- León M., O. A., & Vargas Ríos, O. (2011). 41. Estrategias para el control, manejo y restauración de áreas invadidas por retamo espinoso (Ulex europaeus) en la vereda El Hato, localidad de Usme, Bogotá D.C. En S. P. Reyes B., & O. Vargas Ríos, *La restauración ecológica en la práctica: Memorias del I Congreso colombiano de restauración ecológica*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Lima Santos, R. A., Ascesao, F., Lopes Ribeiro, M., Bager, A., Santos-Reis, M., & Aguiar, L. M. (2017). Assessing the consistency of hotspot and hot-moment patterns of wildlife road mortality over time. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15, 56-60. doi:10.1016/j.pecon.2017.03.003.
- 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, Quindío, Colombia. *Revista de la Academia*

- Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 40(156), 484-493. doi:10.18257/raccefyn.334.
- Luell, B., Beckker, G. J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., . . . Wandall, B. L. (2003). *Wildlife and Traffic: A European*. Bruselas, Bélgica: European Co-operation in the Field of Scientific and Technical.
- Machado, F. S., Fontes, M. A., Mendes, P. B., Moura, A. S., & Romao, B. d. (2015). Roadkill on vertebrates in Brazil: seasonal variation and road type comparison. *North-western journal of zoology*, 11(2), 247-252.
- Madadi, H., Moradi, H., Soffianian, A., Salmanmahiny, A., Senn, J., & Geneletti, D. (2017). Degradation of natural habitats by roads: Comparing land-take and noise effect zone. *Environmental Impact Assessment Review*, 65, 147-155. doi:10.1016/j.eiar.2017.05.003.
- Mantilla-Meluk, H., Mosquera-Guerra, F., Trujillo, F., Pérez, N., Velasquez-Valencia, A., & Vargas Pérez, A. (2017). Mamíferos del sector Norte del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete. *Revista colombiana Amazónica*(10), 99-134.
- Martenen, A. C., Pimentel, R. G., & Metzger, J. P. (2008). Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic Rain Forest: Implications for conservation. *Biological conservation*, 141, 2184-2192.
- Mashio, G. F., Santos-Costa, M. C., & Prudente, A. L. (2016). Road-Kills of Snakes in a Tropical Rainforest in the Central Amazon Basin, Brazil. *South American Journal of Herpetology*, 11(1), 46-53. doi:10.2994/SAJH-D-15-00026.1.
- Mata Estacio, C. (2007). *Utilización por vertebrados terrestres de los pasos de fauna y otras estructuras transversales de dos autopistas del Centro-Noroeste peninsular*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Mateo-Sánchez, María C. et al. (2015) *A comparative framework to infer landscape effects on population genetic structure: are habitat suitability models effective in explaining gene flow?*, *Landscape Ecology*, 30(8), pp. 1405–1420. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0194-4>
- Maynard, R. J., Aall, N. C., Saenz, D., Hamilton, P. S., & Kwiatkowski, M. A. (2016). Road-edge Effects on Herpetofauna in a Lowland Amazonian Rainforest. *Tropical Conservation Science*, 9(1), 264-290.
- McCracken, S. F., & Forstner, M. R. (2014). Oil Road Effects on the Anuran Community of a High Canopy Tank Bromeliad (*Aechmea zebrina*) in the Upper Amazon Basin, Ecuador. *PLOS ONE*, 9(1), 1-12. doi:10.1371/journal.pone.0085470.
- Meese, R. J., Shilling, F. M., & Quinn, J. F. (2007). *Wildlife Crossings Guidance Manual*. Daies, California, USA.: California Department of Transportation Environmental Division.
- Mendes, S., Colino-Rabanal, V. J., & Peris, S. J. (2011). Bird song variations along an urban gradient: The case of the European blackbird (*Turdus merula*). *Landscape and Urban Planning*, 99, 51-57. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.08.013.
- Millot, S., Vandewalle, P., & Parmentier, E. (2011). Sound production in red-bellied piranhas (*Pygocentrus nattereri*, Kner): an acoustical, behavioural and

- morphofunctional study. *The Journal of Experimental Biology*, 214, 3613-3618. doi:10.1242/jeb.061218.
- Milton, S. J., Dean, W. J., Sielecki, L. E., & van der Ree, R. (2015). The function and management of roadside vegetation. En R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (págs. 373-381). Chichester, West Sussex, UK.: John Wiley & Sons.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - España. (2015). *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición revisada y ampliada)*. (2 ed.). Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición)*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Programa nacional para la conservación del género Tapirus en Colombia*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2012). Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos - PNGIBSE. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016). Programa nacional para la conservación y uso sostenible de las especies del superorden Xenarthra presentes en Colombia : plan de acción 2014-2023. Aguilar Isaza, Nathalia, Plese, Tinka, Rojano, Cesar.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). Guía de Manejo Ambiental para vías Terciarias. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
- Ministerio de Medio Ambiente, de España. (2006). *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructura de transporte*. Madrid, España: Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Ministerio de Transporte. (2015). *Manual de señalización vial. Dispositivos uniformes para regulación del tránsito en calles carreteras y ciclorrutas de Colombia*. Bogotá: Ministerio de transporte.
- Ministerio de Transporte. (2004). *Manual de señalización: Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia*. Bogotá, Colombia: Ministerio de transporte.
- Monge-Nájera, J. (2018). Road kills in tropical ecosystems: A review with recommendations for mitigation and for new research. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 722-738.
- Morales-Jiménez, A. L., Sánchez, F., Poveda, K., & Cadena, A. (2004). *Mamíferos terrestres y voladores de Colombia, guía de campo*. Bogotá: Ramos López.
- Moreno, S., & Plese, T. (2005). *Estrategia nacional para la conservación de perezosos de tres uñas, Bradypus sp., y de dos uñas, Choloepus sp. en Colombia*. Medellín: Fundación UNAU - CORANTIOQUIA.

- Nowak, R. M., & Paradiso, J. L. (1983). *Walker's Mammals of the world*. Baltimore, USA: Johns Hopkins Press Ltd.
- Oliveira Goncalves, L., Janish Álvarez, D., Zimmermann Texeira, F., Schuck, G., Pfeifer Coelho, I., Beraldo Esperandio, I., . . . Kindel, A. (2018). Reptile road-kills in Southern Brazil: Composition, hot moments and hotspots. *Science of the Total Environment*, 615, 1438-1445. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.053.
- Ortega-Lara, A., Maldonado-Ocampo, J., & Usma, S. (2009). Inventario preliminar de la ictiofauna de la cuenca alta de los ríos Mocoa y Putumayo (piedemonte amazónico), Colombia. *Actualidades biológicas*, 31(1), 45-46.
- Ottburg, F., & Blank, M. (2015). Solutions to the impacts of roads and other barriers on fish and fish habitats. En R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (pág. 522). Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons.
- Parchizadeh, J., Shilling, F., Gatta, M., Bencini, R., Qashqaei, A., Adibi, M. A., & Williams, S. T. (2018). Roads threaten asiatic cheetahs in Iran. *Current Biology Magazine*, 28, R1141-R1142. doi:10.1016/j.cub.2018.09.005.
- Pardo Ibarra, T. (27 de Mayo de 2019). Un campesino no tiene 2 millones para tumbiar una hectárea de bosque. *El Tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/asi-es-el-negocio-de-la-deforestacion-en-el-guaviare-367604>.
- Parra, J. L., Agudelo, M., Molina, Y., & Londoño, G. (2001). Use of space by a pair of Salvin's curassows (*Mitu salvinii*) in northwestern colombian Amazon. *Ornitología Neotropical*, 12(3), 189-204.
- Parris, K. M. (2015). Ecological impact of road noise and options for mitigation. En R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (pág. 522). Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Parris, K. M., & Schneider, A. (2009). Impacts of Traffic Noise and Traffic Volume on Birds of Roadside Habitats. *Ecology and Society*, 14(1), 1-23. Obtenido de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art29>.
- Parris, K. M., Velik-Lord, M., & North, J. M. (2009). Frogs call at a higher pitch in traffic noise. *Ecology and Society*, 14(1), 1-25. Obtenido de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art25/>.
- Payán, E., Soto, C., Díaz-Pulido, A., Benitez, 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 2013)* (págs. 1-18). Scottsdale: ICOET 2013. Obtenido de http://www.icoet.net/icoet_2013/.
- Pereira, A. d., Calabuig, C., & Wachlevski, M. (2018). Less impacted or simply neglected? Anuran mortality on roads in the Brazilian semiarid zone. *Journal of Arid Environments*, 150, 28-33. doi:10.1016/j.jaridenv.2017.11.015.
- Pinto, F. A., Bager, A., Clevenger, A. P., & Grilo, C. (2018). Giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) conservation in Brazil: Analysing the relative effects of fragmentation and mortality due to roads. *Biological Conservation*, 228, 148-157. doi:10.1016/j.biocon.2018.10.023.

- Plese, T., Reyes-Amaya, N., Castro-Vasquez, L., Giraldo, S., & Feliciano, O. (2016). Distribution and current state of knowledge of Hoffmann's two-toed sloth (*Choloepus hoffmanni*) in COlombia, with comments on the variation of its external morphological traits. *Therya*, 7(3), 407-421. doi:10.12933/therya-16-412.
- Poessel, S., Burdett, C., Boydston, E. E., Lyren, L. M., Alonso, R. S., Fisher, R. N., & Crooks, K. R. (2014). Roads influence movement and home ranges of a fragmentation sensitive carnivore, the bobcat, in an urban landscape. *Biological Conservation*, 180, 224-232. doi:10.1016/j.biocon.2014.10.010.
- Pomareda, E., Araya, D., Ríos, Y., Arévalo, E., Aguilar, M. C., & Menacho, R. M. (2014). *Guía ambiental: Vía samigables con al vida silvestre*. San José, Costa Rica: Comité científico de la Comisión Vías y Vida Silvestre.
- Pracucci Gomes, A. L., Alves da Rosa, C., & Bager, A. (2012). Variação sazonal da fauna selvagem atropelada na rodovia MG 354, Sul de Minas Gerais – Brasil. *Biotemas*, 25(1), 73-79. doi:10.5007/2175-7925.2012v25n1p73.
- Prieto-Piraquive, E. F. (2000). *Estudio ictiológico de un caño de aguas negras de la Amazonía colombiana, Leticia - Amazonas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Quintero, J. D. (2016). *Guía de buenas prácticas ambientalmente amigables*. The Nature Conservancy / Latin America Conservation Council.
- Quintero, J. D. (2016). *Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables*. Washington, USA: The Nature Conservancy / Latin America Conservation Council.
- Quintero, J. D., Roca, R., Morgan, A., Mathur, A., & Shi, X. (2010). *Smart green infrastructure in tiger range countries*. Washington, USA.: The International Bank for Reconstruction and Development.
- Quintero-Ángel, A., Osorio-Dominguez, D., Vargas-Salinas, F., & Saavedra-Rodriguez, C. A. (2012). Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. *Herpetology notes*, 5, 99-105.
- Rautsaw, R. M., Martin, S. A., Lanctot, K., Vincent, B. A., Bolt, M. R., Seigel, R. A., & Parkinson, C. L. (2018). On the Road Again: Assessing the Use of Roadsides as Wildlife Corridors for Gopher Tortoises (*Gopherus polyphemus*). *Journal of herpetology*, 52(2), 136-144. doi:10.1670/17-013.
- Rengifo, L. M. (1999). Composition changes in a sub-Andean avifauna after long-term forest fragmentation. *Conservation Biology*(13), 1124-1139.
- Ribeiro, P., Silveira Miranda, J. E., & Rodriguez de Araujo, D. (2017). The effect of roadkills on the persistence of xenarthran populations: The case of the Brazilian Cerrado. *Edentata*, 18, 51-61. doi:10.2305/IUCN.CH.2017.
- Rincón, A. M., Urbina, C. N., Galeano, S. P., Bock, B. C., & Páez, 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, 1-18. doi:10.1177/1940082919830832.
- Robinson, J. G., & Eisenberg, J. F. (1985). Group size and foraging habits of the collared peccary *Tayassu tajacu*. *Journal of Mammalogy*, 66(1), 153-155.

- Robinson, W. D. (Febrero de 1999). Long-term changes in the avifauna of Barro Colorado island, Panama, a tropical forest isolate. *Conservation biology*, 13(1), 85-97.
- Rowse, E. G., Lewanzik, D., Stone, E. L., Harris, S., & Jones, G. (2016). Chapter 7. Dark matters: The effects of artificial lighting on bats. En C. C. Voight, & T. Kingston, *Bats in the anthropocene: Conservation of bats in a changing world*. (pág. 605). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-2520-9_7.
- Santamaría, M., & Franco, A. M. (2000). Frugivory of Salvin's curassow in a rainforest of the colombian Amazon. *Wilson Bulletin*, 112(4), 473-481.
- Santos, R. A., Mota Ferreira, M., Aguiar, L. M., & Ascensao, F. (2018). Predicting wildlife road-crossing probability from roadkill data using occupancy-detection models. *Science of the total environment*, 64, 629-637. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.107.
- Saura, Santiago & Gonzalez, S. & Elena, R. (2011). Evaluación de los cambios en la conectividad de los bosques: El índice del Área Conexa Equivalente y su aplicación a los bosques de Castilla y León. *Rev. Montes*. 106. 15-21.
- Schutt, P. (2008). *Analysis of road kill data from Ankarafantsika National Park, Madagascar*. Duke University. Durham: Duke University.
- Selva, N., Switalski, A., Kreft, S., & Ibsch, P. L. (2015). Why keep areas road-free? The importance of roadless areas. En R. Van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (pág. 522). Chichester, West Sussex, U.K.: John Wiley & Sons.
- Shilling, F., & Waetjen, D. (2016). *Impact of wildlife-vehicle conflict on drivers and animals*. Davies, California: University of California: Road Ecology Center.
- Shinar, D., & Vogelzang, M. (2013). Comprehension of traffic signs with symbolic versus text displays. *Transportation research part F*, 18, 72-82.
- Shine, R., Lemaster, M., Wall, M., Langkilde, T., & Mason, R. (2004). Why Did the Snake Cross the Road? Effects of Roads on Movement and Location of Males by Garter Snakes (*Thamnophis sirtalis parietalis*). *Ecology and Society*, 9(1), 1-13. Obtenido de <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art9>.
- SIAC - Sistema de Información Ambiental de Colombia. (22 de Noviembre de 2018). <http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/Biodiversidad2/amazonas/amazonia.xhtml>. Obtenido de http://www.siac.gov.co/siac_general: <http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/Biodiversidad2/amazonas/amazonia.xhtml>
- Sillero, N., Ribeiro, H., Franch, M., Silva, C., & Lopes, G. (2018). A road mobile mapping device for supervised classification of amphibians on roads. *European Journal of Wildlife Research*, 64(77), 1-6. doi:10.1007/s10344-018-1236-4.
- Sinchi. (2018). *Metodología homologada para realizar estudios de fragmentación, motores de fragmentación y conectividad ecológica en el paisaje amazónico colombiano, en tres diferentes ámbitos de alcance geográfico: regional,*

- subregional y local*. Bogotá D.C.: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI.
- Sistema Urubu. (30 de 04 de 2020). Obtenido de <https://sistемаurubu.com.br/dados/>.
- Skuth, A. F. (March de 1959). Life history of the black-throated trogon. *The Wilson Bulletin*, 71(1), 5-18.
- Smith, D. J., & van der Ree, R. (2015). Field methods to evaluate the impacts of roads on wildlife. En D. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (pág. 522). Chichester, West Sussex, UK.: John Wiley & Sons.
- Smith, D. J., van der Ree, R., & Rosell, C. (2015). Wildlife crossing structures: An effective strategy to restore or maintain wildlife connectivity across roads. En R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (pág. 522). Chichester, West Sussex, UK.: John Wiley & Sons Ltd.
- Socha Baez, V. A., & Tapias Montañez, C. G. (2010). *Manual de pacificadores de velocidad en vías urbanas*. Tunja: Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia (UTPC) - Escuela de transporte y vías.
- Sosa-Pérez, G., & MacDonald, L. H. (2017). Effects of closed roads, traffic, and road decommissioning on infiltration and sediment production: A comparative study using rainfall simulations. *Catena*, 159, 93-105. doi:10.1016/j.catena.2017.08.004.
- Stevenson, P. R. (2006). Activity and ranging patterns of colombian woolly monkeys in north-western Amazonia. *Primates*(47), 239-247. doi:10.1007/s10329-005-0172-6.
- Stratford, J. A., & Stouffer, P. C. (2015). Forest fragmentation alters microhabitat availability for Neotropical terrestrial insectivorous birds. *Biological conservation*, 188, 109-115.
- Straziuso, J. (29 de Enero de 2011). Kenya elephant underpass a hit. Tucson, Arizona, Estados Unidos. Obtenido de https://tucson.com/news/science/environment/kenya-elephant-underpass-a-hit/article_fe50f43e-b5a4-5134-a353-8c3fab6496cf.html.
- Súarez-Mayorga, A. M., & Lynch, J. D. (2017). Myth and truth on the herpetofauna of Chiribiquete: From lost world to the last world. *Revista colombiana amazónica*, 10, 177-190.
- Sullivan, T. L., Williams, A. F., Messmer, T. A., Hellinga, L. A., & Kyrychenko, S. Y. (2004). Effectiveness of temporary warning signs in reducing deer-vehicle collisions during mule deer migrations. *Wildlife Society Bulletin*, 32(3), 907-915. doi:10.2193/0091-7648(2004)032[0907:EOTWSI]2.0.CO;2.
- Sun, J., Raap, T., Pinxten, R., & Eens, M. (2017). Artificial light at night affects sleep behaviour differently in two closely related songbird species. *Environmental pollution*, 231, 882-889. doi:10.1016/j.envpol.2017.08.098.
- Sunquist, M. E., & Montgomery, G. G. (Noviembre de 1973). Activity patterns and rates of movement of two-toed and three-toed sloths (*Choloepus hoffmanni* and *Bradypus variegatus*). *Journal of mammalogy*, 54(4), 946-954. doi:10.2307/1379088.

- Sunquist, M. E., Austad, S. N., & Sunquist, F. (1987). Movement patterns and home range in the common opossum (*Didelphis marsupialis*). *Journal of mammalogy*, 68(1), 173-176. Obtenido de <http://www.jstor.org/stable/1381069>.
- Tobler, M. W. (2008). *The ecology of the lowland tapir in Madre de Dios, Perú: Using new technologies to study large rainforest mammals*. College Station, Texas, USA.: Texas A&M University.
- Valladares, F., Balaguer, L., Mola, I., Escudero, A., & Alfaya, V. (2011). *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas*. Madrid, España: Fundación Biodiversidad.
- van der Grift, E. A., & van der Ree, R. (2015). Guidelines for evaluating use of wildlife crossing structures. En R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo, *Handbook of road ecology* (págs. 119-128). Chichester, West Sussex, UK.: John Wiley & Sons.
- van der Grift, E. A., & van der Sluis, T. (2003). *Design of an ecological network for Piano di Navelli (Abruzzo)*. Wageningen, Holanda: Alterra, Green world research.
- van der Grift, E. A., Seiler, A., Rosell, C., & Semeonova, V. (2017). *Safe roads for wildlife and people. SAFEROAD Final Report. CEDR Transnational Road Research Programme Call 2013.* Bruselas, Bélgica: CEDR - Concerence or European Directors of Roads.
- Vargas-Salinas, F., & López-Aranda, F. (2012). ¿Las carreteras pueden restringir el movimiento de pequeños mamíferos en bosques andinos de Colombia? Estudio de caso en el Bosque de Yotoco, Valle del Cauca. *Caldasia*, 342, 409-420.
- Vélez, J., Espeleta, J. M., Rivera, O., & Armenteras, D. (2017). Effects of seasonality and habitat on the browsing and frugivory preferences of *Tapirus terrestris* in north-western Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, 1-12. doi:10.1017/S0266467417000359.
- Vieira Fragoso, J. M. (1999). Perception of scale and resource partitioning by peccaries: Behavioral causes an ecological implications. *Journal of Mammalogy*, 80(3), 993-1003.
- Weaver, W., Weppner, E., & Hagans, D. (2014). *El libro verde: Manual de caminos forestales y rurales*. Ukiah, California. Estados Unidos: California Water Boards.
- Wells, K. D., & Schwartz, J. J. (2006). The behavioral ecology of anuran communication. En P. M. Narins, A. S. Fenf, R. R. Fay, & A. N. Popper, *Hearing and communication in amphibians* (pág. 366). New York: Springer. doi:10.1007/978-0-387-47796-1.
- Whittington, J., Low, P., & Hunt, B. (marzo de 2019). Temporal road closures improve habitat quality for wildlife. *Scientific reports*, 219(9), 1-10. doi:10.1038/s41598-019-40581-y.
- World Bank. (2007). *Environmental Impact Report of World Bank Financed Anhui Highway Project III*. Washington, USA: World Bank.

- Wunderle, J. M., Willig, M. R., & Pinto Henriques, M. (2005). Avian distribution in treefall gaps and understorey of terra firme forest in the lowland Amazon. *Ibis*, 109-129.
- Yuan, L., Ma, Y.-f., Lei, Z.-y., & Xu, P. (2014). Driver's comprehension and improvement of warning signs. *Advances in mechanical engineering*, 1-9. doi:10.1155/2014/582606.
- Yumoto, T. (1999). Seed dispersal of Salvin's curassow, *Mitu salvini* (Cracidae), in a tropical forest of Colombia: Direct measurements of dispersal distance. *Biotropica*, 31(4), 654-660.
- Zapata, L. A., & Usma, J. S. (2013). *Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Peces, Vol. 2*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / WWF Colombia.
- Zhang, W., Shu, G., Li, Y., Xiong, S., Liang, C., & Li, C. (2018). Daytime driving decreases amphibian roadkill. *PeerJ*, 1-18. doi:10.7717/peerj.5385.
- Zimmermann Teixeira, F., Pfeifer Coelho, A. V., Beraldo Esperandio, I., & Kindel, A. (2013). Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. *Biological conservation*, 157, 317-323. doi:10.1016/j.biocon.2012.09.006.