

Juan D. Quintero

*Guía de buenas prácticas para
carreteras ambientalmente
amigables*



Latin America
Conservation
Council



Estamos muy cerca de presenciar un rápido crecimiento en la construcción de carreteras, con al menos 25 millones de kilómetros de nuevas carreteras construidas para el año 2050. 90% de estos caminos estarán en países en desarrollo, en zonas que albergan algunos de los refugios más irremplazables para la biodiversidad del planeta.

Tabla de contenido

Prefacio	vii
Agradecimientos.....	viii
Siglas	ix
Capítulo 1. Introducción 1	
Las carreteras y el desarrollo.....	1
La Guía de carreteras: qué es y qué no es.....	2
Cómo utilizar esta Guía.....	3
Capítulo 2. Conceptos básicos sobre las carreteras 5	
Clasificación de las carreteras	5
Tipología de las obras viales.....	5
Agencias involucradas.....	7
Ciclo del Proyecto vial.....	8
Secuencia típica en la construcción de una carretera	10
Capítulo 3. Impactos ambientales causados por la infraestructura vial 11	
Impactos directos.....	11
Impactos Indirectos	13
Impactos acumulativos	15
Problemas con la modificación y la fragmentación de hábitats.....	15
Interacción de los impactos.....	16
Impactos potenciales de las carreteras sobre las áreas sensibles.....	17
Identificación de los impactos durante el ciclo del proyecto.....	21
Capítulo 4. Aplicación de buenas prácticas ambientales 27	
Planificación temprana	29
Etapa de pre-diseño	33
Etapa de diseño	35
Etapa de construcción.....	40
Etapa de Operación y Mantenimiento	48

Capítulo 5. Soluciones técnicas para carreteras en áreas sensibles 55

Minimización de los impactos	57
Soluciones de Ingeniería.....	60
Compensación por los impactos.....	64

Capítulo 6. Tecnologías innovadoras para carreteras 69

Equipos para la construcción de carreteras.....	69
Productos y materiales para la construcción de carreteras	73
Herramientas para la predicción de los impactos	79

Apéndice 1. Actividades durante la construcción de una carretera.....	82
Apéndice 2. Lecturas adicionales	84
Apéndice 3. Glosario	86
Referencias	88

Lista de cuadros, figuras, and tablas 27

Cuadro 1. Erosión and Sedimentación Capítulo 2. Conceptos básicos sobre las carreteras.....	13
Cuadro 2. Autopista Panamericana, Panamá	14
Cuadro 3. Carretera Ciénaga-Barranquilla, Colombia.....	18
Cuadro 4. Pérdida de hábitats: Autopista Trans-Chaco, Paraguay	19
Cuadro 5. Integración de la conservación en la planificación	31
Cuadro 6. Desde la planificación hasta la construcción de una vía.....	32
Cuadro 7. Los servicios eco-sistémicos y las carreteras	34
Cuadro 8. Impactos sobre los hábitats naturales: Aspectos claves en la selección del trazado	35
Cuadro 9. Identificación temprana de los impactos acumulativos	37
Cuadro 10. Medidas típicas de mitigación	39
Cuadro 11. Manejo ambiental	41
Cuadro 12. Experiencias en América Latina	52
Cuadro 13. Impactos irreversibles sobre hábitats sensibles: Carretera Ciénaga-Barranquilla, Colombia	55
Cuadro 14. Lecciones del sudeste de Asia	58
Cuadro 15. Reservas compensatorias en dos proyectos viales	66
Cuadro 16. Aumento de la eficiencia mediante el uso de tecnologías innovadoras	72
Cuadro 17. Prolongación de la duración del concreto con poliurea	74
Cuadro 18. Sostenibilidad en la construcción de carreteras en concreto	75

Figura 1.	Estado de las carreteras con el paso del tiempo	9
Figura 2.	Impactos directos causados por el desarrollo vial	11
Figura 3.	Efectos ecológicos directos de las carreteras sobre la vida silvestre	12
Figura 4.	Impactos indirectos causados por el desarrollo vial	13
Figura 5.	Impactos acumulativos causados por el desarrollo vial	15
Figura 6.	Interacción de los impactos causada por el desarrollo vial	16
Figura 7.	Jerarquía de mitigación	27
Figura 8.	Estabilización de taludes y métodos para el control de la erosión	41
Figura 9.	Dibujos del diseño de un muro geotextil	42
Figura 10.	Muro con geotextil que soporta el prisma de una carretera	42
Figura 11.	Estructuras de drenaje	43
Figura 12.	Tanque de sedimentación de pasos múltiples	44
Figura 13.	Control del polvo	44
Figura 14.	Manejo apropiado de los químicos	45
Figura 15.	Restauración de las áreas de préstamo	45
Figura 16.	Manejo de los desechos	46
Figura 17.	Estructura organizacional típica durante la construcción	46
Figura 18.	Actividades de mantenimiento	50
Figura 19.	Cronograma de mantenimiento vial	52
Figura 20.	Proceso en la toma de decisiones	56
Figura 21.	Mantenimiento del flujo del agua	59
Figura 22.	Medidas para mitigar los impactos sobre la vida silvestre	60
Figura 23.	Esquemas de cruces de la fauna – culverts y puentes mejorados	61
Figura 24.	Estructuras amigables con la vida silvestre	62
Figura 25.	Instalación apropiada de culverts para la conectividad acuática	62
Figura 26.	Señales de fauna	63
Figura 27.	Estabilización de taludes, paisajismo, reforestación	64
Figura 28.	Restauración de la conectividad	65
Tabla 1.	Tipología de obras viales	6
Tabla 2.	Actores claves involucrados en el proceso de desarrollo vial	7
Tabla 3.	Resumen de las diferentes etapas del ciclo del proyecto vial	10
Tabla 4.	Relación entre diferentes tipos de impactos	17
Tabla 5.	Impactos potenciales en áreas sensibles	20
Tabla 6.	Impactos ambientales y sociales potenciales durante la construcción, operación y mantenimiento de un proyecto vial	21

Tabla 7.	Impactos potenciales sobre la vida silvestre	25
Tabla 8.	Incorporación de las consideraciones ambientales en el ciclo del proyecto vial	28
Tabla 9.	Opciones para el manejo de los riesgos del cambio climático sobre las carreteras	35
Tabla 10.	Responsabilidades en el manejo ambiental	47
Tabla 11.	Actividades de mantenimiento rutinario	51
Tabla 12.	Componentes a considerar en áreas sensibles	53
Tabla 13.	Principales impactos ambientales y medidas típicas de mitigación	57
Tabla 14.	Comparación indicativa de medidas de mitigación para la protección de la flora y la fauna	64
Tabla 15.	Ejemplos de proyectos viales que protegen la biodiversidad en áreas sensibles	67

Prefacio

En algunas regiones desarrolladas del mundo, damos por sentado que las carreteras existen. Pero en América Latina, donde las poblaciones y las economías están creciendo, hay una escasez de carreteras para transportar mercancías y personas. Los países de América Latina están respondiendo a esta escasez de la misma manera que lo están haciendo los países en vías de desarrollo alrededor del mundo.

Tal como se describe en esta *Guía de buenas prácticas*, estamos muy cerca de presenciar un rápido crecimiento en la construcción de carreteras, con al menos 25 millones de kilómetros de nuevas carreteras construidas para el año 2050. 90% de estos caminos estarán en países en desarrollo, en zonas que albergan algunos de los refugios para la biodiversidad más irremplazables del planeta. Las carreteras ayudan a impulsar las economías, pero también pueden dañar y destruir los ecosistemas naturales que proporcionan servicios vitales para la vida en la Tierra.

Como conservacionista de toda la vida, me preocupo profundamente por la preservación de la belleza natural y de la biodiversidad de nuestro planeta. También he enfocado gran parte de mi vida profesional a cuestiones financieras, y valoro el crecimiento económico y el progreso. Para mí, es imperativo que el crecimiento y la conservación vayan de la mano. Como ciudadanos del mundo, compartimos los limitados recursos naturales de nuestro planeta y tenemos por tanto la responsabilidad de actuar como buenos administradores del medio ambiente.

Entonces, ¿cómo debemos manejar esta colisión entre la protección del medio ambiente y las necesidades económicas? En esta *Guía* se concluye, con razón, que se necesitan reglas claras para, en el siguiente orden, primero evitar, luego reducir, y finalmente compensar por cualquier impacto inevitable sobre el medio ambiente. Si bien existe el sistema de licencias ambientales y políticas para la evaluación del impacto ambiental en la mayoría de países de América Latina, no es ningún secreto que estas políticas no siempre son suficientemente claras o se aplican adecuadamente, ni que las herramientas y tecnologías existentes se utilizan de manera adecuada para reducir los impactos ambientales.

Esta *Guía* es parte de un esfuerzo para proporcionar información científica y asesoramiento adecuados en la creación de prácticas para la construcción de carreteras. Documenta las buenas prácticas de las carreteras construidas de una manera en la que se reducen los impactos lo que, por desgracia, tiende a ser la excepción. Promueve un ciclo del proyecto con un enfoque más holístico, para hacer frente a los impactos sobre la naturaleza, lo que se necesita para romper con el enfoque reactivo y ad hoc que caracteriza a los negocios como de costumbre en la actualidad. Sorprendentemente, hasta ahora no existe ningún manual para una mejor construcción de carreteras; esta *Guía* tiene como objetivo empezar a llenar ese vacío.

En 2010 trabajé con The Nature Conservancy para reunir líderes públicos y privados con ideas afines para formar el Consejo de Conservación para América Latina (*Latin America Conservation Council, LACC*). El consejo está comprometido a prestar atención a las soluciones con un enfoque científico para el desarrollo sostenible en América Latina y más allá. Miembros de LACC patrocinaron esta *Guía* para proporcionar un punto de referencia de enfoques y tecnologías para construir carreteras más amigables con el medio ambiente, con un menor número de impactos sobre la naturaleza. El LACC exige el diseño de “infraestructura inteligente,” para lograr una pérdida neta cero de “capital natural”.

Esta *Guía* de buenas prácticas, en última instancia, trata de cambiar el comportamiento y hace más fácil para que los funcionarios gubernamentales, los constructores y otros diseñen y construyan mejores carreteras, anticipándose a los problemas iniciales que puedan causar retrasos y sobrecostos. Si esto se logra, debe ser visto no solo como un buen negocio sino también como una ayuda para el planeta —una inversión ahora para un futuro más sostenible que equilibre el desarrollo y la conservación tanto para las personas como para la naturaleza.

Henry M. Paulson, Jr.

Copresidente, Consejo de Conservación para América Latina, LACC

Presidente, Instituto Paulson
Secretario del Tesoro de EEUU, 2006–2009

Agradecimientos

Esta Guía se redactó bajo la supervisión del Consejo de Conservación para América Latina (*Latin America Conservation Council*, LACC) con el apoyo de The Nature Conservancy, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco de desarrollo de América Latina (CAF), Industrias DOW, Caterpillar, y Odebrecht. Fue preparado por Juan David Quintero, con la colaboración de Aradhna Mathur, Patricia Caicedo, Andrea Arjona, y Ana María Quintero.

El informe se preparó para LACC. Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas en este trabajo no reflejan necesariamente las opiniones de los miembros de LACC.

Un agradecimiento especial por su apoyo, aportes y revisiones para: Aurelio Ramos, Jerry Touval, Courtney Guthreau, TNC; Graham Watkins, Ernesto Monter, BID; Gabriel Azevedo, María Ines Miranda de Andrade, Odebrecht; Juan F. Martinez, DOW; y Marcos Sallowicz, Caterpillar.

Siglas

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAF	Banco de desarrollo de América Latina
CFS	Central Forest Spine (Malaysia)
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CVE	Componentes valorados del ecosistema
EAE	Evaluación ambiental estratégica
EAR	Evaluación ambiental regional
EAS	Evaluación ambiental sectorial
EIA	Evaluación de impacto ambiental
EIC	Evaluación de impactos acumulativos
GPS	Sistema de posicionamiento global (<i>Global Positioning System</i>)
GSM	Sistema global para las tecnologías de comunicaciones móviles
IBAT	Integrated Biodiversity Assessment Tool for Business
LACC	Consejo de Conservación para América Latina (<i>Latin America Conservation Council</i>)
LED	Diodo emisor de luz (<i>light-emitting diode</i>)
LEED	Liderazgo en energía y diseño ambiental (<i>Leadership in Energy & Environmental Design</i>)
MODIS	Espectro- radiómetro de imágenes de resolución moderada (<i>Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer</i>)
NPP	Plan Físico Nacional (Malaysia)
PMA	Plan de manejo ambiental
RES®	Road Energy Systems
SIG	Sistema de información geográfica
UV	Rayos ultravioletas



Wildlife overpass. Photo: Thinkstock.com

Capítulo 1

Introducción

Las carreteras y el desarrollo

La infraestructura vial y los servicios que presta afectan significativamente las economías nacionales y la calidad de vida de las personas. En la economía global de hoy, la infraestructura de transporte es vital para la promoción del intercambio comercial y las inversiones. La infraestructura y los servicios de transporte, particularmente las carreteras, juegan un papel importante en el desarrollo económico y social, ya que tiene impactos positivos tales como proporcionar a las personas acceso a servicios de salud, mercados, escuelas y empleo. Las carreteras son líneas de vida esenciales de un país, proporcionando conectividad y acceso a bienes y servicios. En las zonas rurales, las carreteras son aún más crítica para las mujeres y los niños, ya que proporcionan un aumento de los ingresos y el acceso a servicios de educación y salud. En Perú, los proyectos de carreteras rurales aumentaron los ingresos de las mujeres en un 14%, la asistencia de las niñas a la escuela primaria en un 7%, y el número de visitas de las mujeres y los niños a los centros de salud en un 55% (BID 2014).

El siglo XXI verá una expansión sin precedentes de las carreteras, con al menos 25 millones de kilómetros de nuevas carreteras previstas para el año 2050 (Laurance et al. 2014). 90% de estos nuevos caminos estarán en las naciones en desarrollo, que albergan muchos de los ecosistemas biológicamente más diversos e importantes del mundo para el medio ambiente (Laurance et al. 2015). Mientras que las carreteras son fundamentales para el desarrollo económico, estos ecosistemas y los servicios que prestan son vitales para mantener la vida. Las carreteras son factores clave del cambio del uso del suelo y la deforestación y amenazan la biodiversidad. En América Latina y el Caribe, la agricultura comercial facilitada, por redes de transporte, es un factor principal de la deforestación (Watkins 2014). El reto es que se continúe con el desarrollo vial sin que este desarrollo tenga nefastas consecuencias sobre las comunidades locales y el medio ambiente.

A nivel mundial, se estima que cada año hay un déficit de financiación de USD 1 trillón para proyectos de infraestructura. Para llenar este vacío, hay un fuerte impulso para lograr el desarrollo sostenible, en la que la prosperidad económica es compartida ampliamente y se logra sin comprometer el capital natural. El desarrollo sostenible debe llevarse a cabo para que incluya y equilibre las necesidades y beneficios sociales, económicos y ambientales (incluso el cambio climático) (Banco Mundial 2001). Los objetivos de desarrollo del milenio han actuado como una herramienta para impulsar los esfuerzos de la comunidad internacional hacia la creación de un entorno propicio para el desarrollo.

En América Latina y el Caribe, se estima que se requieren inversiones en infraestructura de alrededor 5% del producto interno bruto (un monto equivalente a US \$ 250 mil millones en 2010) durante un largo período para cerrar la brecha entre los servicios actuales y la demanda proyectada (BID 2014). Dado que los países tratan de satisfacer las demandas, hay una necesidad urgente de que todos los involucrados – gobiernos, agencias multilaterales y el sector privado – acepten e integren la sostenibilidad en cada paso del desarrollo. Sin esto, el

precio del desarrollo de la infraestructura puede ser ambiental, social y económicamente muy alto – un precio que seguramente las generaciones futuras tendrán que soportar.

Las mejores prácticas ambientales están ganando tracción en todo el mundo en muchos sectores. Sin embargo, una revisión completa de guías de buenas prácticas para las carreteras reveló algunas lagunas sorprendentes, así como áreas en que están muy bien documentadas. Por lo general, el manejo de las actividades de cada proyecto está bien documentada, como el manejo de la construcción o la realización de evaluaciones ambientales, y existe una extensa literatura sobre los impactos ambientales de las carreteras en la vida silvestre. Esta *Guía de buenas prácticas* (en adelante llamada “la Guía”) se centra en el área desatendida de la integración de las consideraciones ambientales en todo el ciclo del proyecto – desde la planificación hasta la ejecución y el mantenimiento – en lugar de hacer frente a los impactos de una manera individual, tal como se hace actualmente. Al aumentar la conciencia y el acceso a estas mejores prácticas, esta Guía debe alentar a las autoridades gubernamentales, los profesionales, y la industria a adoptar, no como una carga adicional que aumenta los costos, sino como una inversión inicial para minimizar retrasos imprevisibles y conflictos, y en última instancia, como una inversión en un futuro sostenible que equilibre el desarrollo y la conservación para las personas y la naturaleza.

La Guía de carreteras: qué es y qué no es

El propósito de esta Guía es presentar un enfoque para incorporar los aspectos ambientales en la concepción y ejecución de una carretera para promover una nueva era de proyectos viales más amigables con el medio ambiente, y por tanto, más ambientalmente sostenibles. Esta Guía se hace enfoca en los asuntos que reducen la brecha entre los conceptos y su aplicación práctica. Se hace énfasis en la integración de los aspectos ambientales en todo el ciclo del proyecto, desde la planificación y el diseño hasta la construcción, operación y mantenimiento (y desmantelamiento¹) como también la integración de la jerarquía de mitigación. Las lecciones aprendidas tanto de las buenas como de las malas prácticas ilustran las complejidades asociadas con la integración de las consideraciones ambientales en el desarrollo de carreteras. Temas sociales complejos como los pueblos indígenas, los recursos culturales físicos, el reasentamiento, el género, el trabajo infantil, etc. no se abordan en esta Guía. Sólo los problemas sociales relacionados con las preocupaciones ambientales durante la construcción, tales como el ruido, los campamentos de los trabajadores, y la seguridad se abordan en esta Guía.

Debido a la amplia gama de diferentes términos utilizados en la construcción de carreteras en toda la región, con esta Guía también se pretende construir un vocabulario común de términos para facilitar el diálogo entre los distintos sectores. Aunque esta Guía se centra principalmente en América Latina, también se proporcionan ejemplos de otros países para ilustrar las buenas prácticas. La Guía se beneficia de la riqueza existente en la información disponible a través de publicaciones y la experiencia profesional de los expertos que trabajan en proyectos de carreteras a nivel mundial.

Las principales audiencias de esta Guía son individuos involucrados en la planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento de la infraestructura vial, y también los especialistas ambientales. La Guía está dirigida a las agencias gubernamentales como las agencia viales y de licencias ambientales, a los profesionales y consultores ambientales, a los contratistas y a todas las organizaciones que participan en el desarrollo de las carreteras y las evaluaciones ambientales. También será útil para otras partes interesadas, como las organizaciones no gubernamentales que están interesadas e involucradas en el desarrollo de caminos ambientalmente amigables y que tratan de equilibrar las necesidades de desarrollo con las de conservación

¹ El desmantelamiento se aplica solamente a carreteras forestales o de acceso a otros proyectos de infraestructura.

Cómo utilizar esta Guía

La Guía se basa en el ciclo del proyecto. Después de este Capítulo de introducción, en el Capítulo 2 se proporciona una visión general de los conceptos básicos de las carreteras para familiarizar al lector con la terminología estándar relativa al desarrollo de carreteras. Esto incluye los sistemas viales de clasificación, tipología de carreteras, los diferentes organismos o agencias que participan en la construcción de carreteras, y el ciclo de un proyecto vial. En el Capítulo 3 se analizan los impactos ambientales asociados con el desarrollo de carreteras, incluso los de las áreas sensibles.

En el Capítulo 4 se detallan las mejores prácticas que deben seguirse en cada etapa del ciclo del proyecto para integrar las consideraciones ambientales. La Jerarquía de mitigación se presenta como un concepto que debe ser aplicado en todo el ciclo del proyecto para evitar, minimizar, rehabilitar y compensar por los impactos ambientales. El Capítulo 5 se concentra en las áreas sensibles. Si bien las medidas que se describen en el Capítulo 4 se aplican en las áreas sensibles, es necesario prestarles más atención, desarrollando soluciones específicas para estas áreas.

En el último Capítulo de la Guía se introducen nuevas tecnologías innovadoras que pueden promover la sostenibilidad ambiental. Esto incluye productos amigables con el medio ambiente, nuevas tecnologías de construcción, así como también las herramientas de software. Aunque los nombres de marca no se incluyen deliberadamente, es importante tener en cuenta que la Guía sí incluye referencia a algunas tecnologías innovadoras desarrolladas por los miembros del Consejo de Conservación para América Latina (LACC). Esto no debe verse como un endoso comercial sino como un esfuerzo para animar al lector a mantenerse al día y considerar las nuevas tecnologías de forma permanente. La gente y los paisajes de América Latina se lo merecen.



Autopistas | carreteras

Arterias

Colectores

Carreteras
locales

bajo volumen

pavimentadas
tierra

mayor
menor
rural
urbana

Capítulo 2

Conceptos básicos sobre las carreteras

Clasificación de las carreteras

Algunos países clasifican las carreteras en urbanas o rurales: otros las clasifican de acuerdo con su jurisdicción administrativa, el número de vehículos/día, la topografía o el terreno que cruzan, el número de carriles, sus accesos restringidos, la conectividad, etc. Sin embargo la manera más común de clasificarlas es según sus funciones y capacidades.

Autopistas: son carreteras pavimentadas de doble calzada con tres o más carriles en cada sentido y que tienen acceso limitado. Ofrecen viajes mayormente ininterrumpidos, a menudo utilizando accesos parciales o totales, y están diseñadas para altas velocidades. Las autopistas no tienen pasos a nivel, intersecciones, semáforos o rotondas. Algunas tienen carriles colectores, distribuidores o intercambiadores que reducen aún más el número de rampas de acceso que interactúan directamente con la autopista.

Arterias: son vías mayores que llevan grandes volúmenes de tráfico. Generalmente tienen divisores en el medio y pueden tener intersecciones, pasos a nivel, semáforos o rotondas. Las arterias suelen dividirse en mayores o menores y rurales o urbanas. Por lo general, están pavimentadas.

Colectores: como su nombre indica, recogen el tráfico de las carreteras locales y lo distribuyen a las arterias.

Carreteras locales: tienen los límites de velocidad más bajos y llevan bajos volúmenes de tráfico. En algunas áreas, las carreteras locales pueden ser de tierra y pueden ser urbana o rurales.

Tipología de las obras viales

El término “obras viales” incluye la construcción de carreteras nuevas, cambio de categoría, mejoramiento en las especificaciones, rehabilitación de carreteras en mal estado y mantenimiento de carreteras existentes (ver Tabla 1)

Tabla 1. Tipología de obras viales

Tipología	Descripción	Actividades típicas
Construcción de carreteras nuevas	Incluye la construcción de vías nuevas construidas sobre nuevos alineamientos, construcción de circunvalares, viaductos, puentes, túneles, etc. Puede requerirse la adquisición de tierras para todo el derecho de vía.	Grandes movimientos de tierra para la construcción de drenajes, viaductos, puentes, túneles, etc. Construcción de estructuras de control de la erosión y la sedimentación, estabilización de taludes, etc.
Cambio de categoría	Cambio de categoría (por ejemplo, de secundaria a primaria, de arteria a autopista, etc.) En la mayoría de los casos se requiere la adquisición de tierras	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Adición de nuevos carriles (de 2 a 4, de 4 a 6, etc.) ▶ Cambios en la superficie de rodadura (por ejemplo de tierra a pavimento) ▶ Mejoramiento de señales de tránsito, obras de arte, etc. ▶ Ampliación de intersecciones
Mejoramiento de la vía	Obras para mejorar las especificaciones de la carretera. La mayor parte de los trabajos se realizan en la plataforma existente o derecho de vía. Se podría requerir la adquisición adicional de tierras en lugares específicos.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ampliación de los carriles, calzadas, bermas ▶ Adición de nuevos carriles en terrenos con altas pendientes ▶ Mejoramiento del trazado vertical y/o horizontal ▶ Mejoramiento de curvas y peraltes ▶ Reforzamiento de puentes
Rehabilitación	Trabajos necesarios en las carreteras en estado de deterioro para llevarlas a su condición original. Todos los trabajos se realizan sobre la calzada o el derecho de vía existente No se requiere adquisición de tierras	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mejoramiento de drenajes, taludes, terraplenes, u otras estructuras de la vía ▶ Recuperación y mejoramiento de la capa de rodadura ▶ Repavimentación completa ▶ Recuperación de trabajos civiles ▶ Mejoramiento de señales de tránsito, obras de arte, bermas, etc.
Mantenimiento	Trabajos necesarios en la vía existente para mantenerla en condiciones óptimas. Todos los trabajos se llevan a cabo en la calzada o el derecho de vía existente. No se requiere adquisición de tierras.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Trabajos rutinarios como re-parqueo, tratamiento de fisuras, o limpieza de cunetas y alcantarillas ▶ Trabajos periódicos como repavimentación, marcación de líneas, mantenimiento de puentes, obras de arte, etc. ▶ Remoción de derrumbes y escombros

Agencias involucradas

Varias agencias y actores están involucrados, desde la planificación hasta la operación de una vía. Estas agencias varían desde organizaciones a nivel nacional hasta autoridades distritales o provinciales, dependiendo del tipo de carreteras. El papel de los actores clave se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Actores claves involucrados en el proceso de desarrollo vial

Actor	Objetivo	Papel en el desarrollo de carreteras ambientalmente amigables
Agencias de planificación/ ministerios sectoriales	Establecen los criterios y prioridades a nivel nacional para la selección de redes y corredores viales.	Llevar a cabo evaluaciones ambientales estratégicas (EAE) y tenerlas en cuenta cuando se planifican los objetivos de desarrollo
Agencias viales	Seleccionan la alineación, definen las especificaciones y diseñan la vía.	Asegurar que se evitan las áreas sensibles, aplicar la jerarquía de mitigación para minimizar los impactos, llevar a cabo análisis de fragmentación
Agencias de planificación del uso del suelo, agencias ambientales, autoridades regionales	Planifican el uso del suelo, y desarrollan planes sobre los recursos naturales	Identificar “áreas de no intervención” y áreas que requieren protección y consideración especial
Agencias ambientales	Piden Evaluaciones de impacto ambiental (EIA) y términos de referencia para las EIA; emiten las licencias ambientales para el proyecto	Requerir un análisis de alternativas, teniendo en cuenta las compensaciones para los problemas ambientales; vigilar el cumplimiento de los requisitos de las licencias ambientales
Diseñador	Diseña la vía con base en los aportes de los ingenieros, los especialistas sociales y ambientales y otros expertos	Asegurar que las medidas de mitigación están incluidas en el diseño
Especialista ambiental	Lleva a cabo las EIA, analiza los impactos, proporciona una guía para el diseño	Asegurar que la jerarquía de mitigación se incorpora en el Proyecto; identificar medidas de mitigación y compensación
Contratista	Construye la carretera con base en los diseños de ingeniería	Aplicar las mejores prácticas y tecnologías durante la construcción; implementar el plan de manejo ambiental
Ingeniero supervisor	Lleva a cabo el control de la calidad de la construcción; monitorea la construcción y supervisa al contratista	Asegurar que todas las medidas de mitigación se llevan a cabo y que los impactos debido a la construcción se mitigan
Agencia prestataria	Hace seguimiento	Asegurar que el cumplimiento de las salvaguardias ambientales y los costos del proyecto incluyen todas las medidas de mitigación y compensación

Ciclo del Proyecto vial

Existen cinco etapas principales en la implementación de un proyecto vial: Planificación, pre-diseño, diseño final, construcción, operación y mantenimiento tal como se describe en esta sección (ver Tabla 3 para un resumen de las actividades principales). En algunos casos, también hay una etapa de desmantelamiento. En el Capítulo 4 se analizan en detalle las mejores formas de incorporar las consideraciones ambientales en cada etapa del proyecto.

Planificación El proceso de planificación incluye el establecimiento de políticas viales a nivel nacional, regional o local; un análisis de la vulnerabilidad a los desastres naturales; y un análisis de factibilidad técnica, económica, ambiental y financiera. La planeación del transporte tiene en cuenta las diferentes modalidades de transporte, define la necesidad de carreteras y establece las prioridades, los objetivos y las estrategias del sector vial. En esta etapa debe seleccionarse el corredor con el menor impacto.

Pre-diseño En la etapa de pre-diseño, a pesar de que ya se han establecido las decisiones críticas que afectarán el medio ambiente y las comunidades circundantes, también tendrán que tomarse otras decisiones importantes para identificar la mejor alternativa vial en el corredor de menor impacto. El producto en esta etapa incluye generalmente una descripción de la ubicación y del diseño de las principales características del proyecto propuesto, sus posibles impactos socio-ambientales negativos, y una descripción aproximada de las medidas que deben adoptarse para evitar, minimizar y mitigar los impactos o para mejorar las condiciones positivas. El análisis económico generalmente se lleva a cabo en esta etapa.

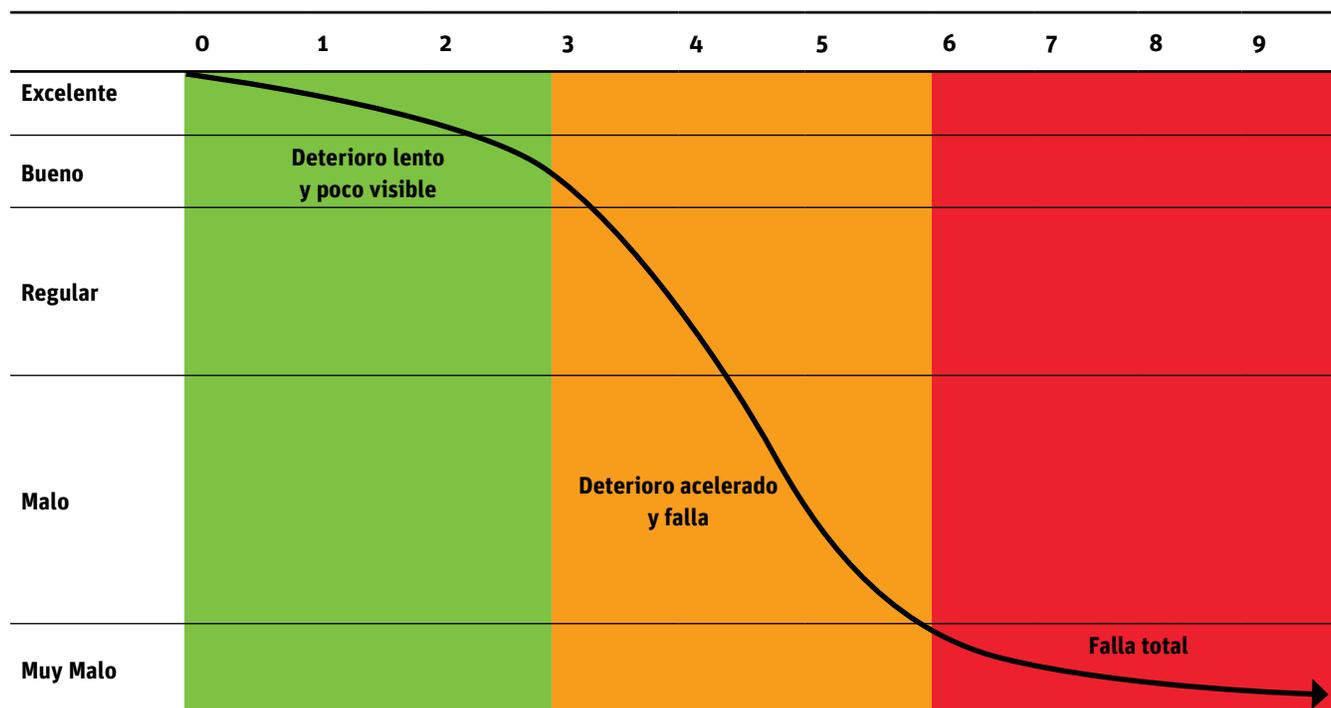
Diseño final Una vez que la alternativa preferida haya sido seleccionada, el proyecto pasa a la etapa de diseño. El producto de esta etapa es un conjunto completo de planes ejecutivos, de especificaciones técnicas para cada componente del proyecto, de costos estimados, y de las cantidades de materiales que serán necesarios durante la construcción del proyecto. Se producen por lo general sólo cambios menores en el proyecto original que se desarrolló durante las etapas de planificación y pre-diseño.

Construcción Una vez que se hayan completado los diseños finales, se preparan los paquetes de licitación de la construcción, se lleva a cabo el proceso de licitación, se selecciona a un contratista, y se inicia la construcción. En esta etapa puede requerirse algunos ajustes en el diseño (especialmente cuando pasa mucho tiempo entre el final de la etapa de diseño y la selección del contratista). Por lo tanto, es esencial la participación continua del equipo de diseño y de especialistas ambientales a lo largo de esta etapa. La construcción puede ser simple o compleja y puede requerir un par de meses o varios años. Una vez terminada la construcción, se pasa la etapa de operación y mantenimiento.

Operación y Mantenimiento Durante la etapa de operación, es necesario garantizar que el tráfico se mueve adecuadamente y que la carretera proporciona el tipo y los niveles de servicio deseados. El mantenimiento, dividido en rutinario y periódico, implica obras para preservar la carretera en sus condiciones originales de nivel de servicio. El aplazamiento del mantenimiento puede dar lugar a un rápido deterioro de la carretera y su eventual fracaso, así como en un alto incremento de los costos directos e indirectos y un aumento en los accidentes. Si los daños de la carretera se reparan con prontitud, el costo suele ser modesto.

El deterioro de una carretera es lento al principio, prácticamente invisible, y en su mayoría se limita al desgaste y a daños menores en el pavimento y el sistema de drenaje (ver fase A en la Figura 1). Si el mantenimiento no se lleva a cabo, el camino tiende a deteriorarse más rápidamente y su base y sub-base pueden verse comprometidas (fase B). Una vez que la condición de la carretera se ha convertido en muy pobre, su deterioro tiende a disminuir a medida que los niveles de tráfico disminuyen notoriamente y porque queda muy poco por deteriorarse (fase C) (Banco Mundial 2008a).

Figura 1. Estado de una carretera con el paso del tiempo



Fuente: Banco Mundial 2008a.

El Mantenimiento de una carretera puede dividirse en tres categorías:

- ▶ **Mantenimiento rutinario:** Obras que se llevan a cabo cada año, corte de vegetación al borde de la carretera, tala de vegetación, limpieza de cunetas y alcantarillas, re- parcheo, etc.
- ▶ **Mantenimiento Periódico:** Actividades que se llevan a cabo a intervalos de varios años (generalmente de tres a cinco años) para preservar la integridad estructural de la vía o para permitirle acarrear un aumento de cargas por eje. Los trabajos incluyen repavimentación, marcación de líneas, re-capeado, reconstrucción del pavimento (mezclado y re-parcheo).
- ▶ **Trabajos especiales de mantenimiento:** Actividades que no se pueden estimar con anticipación como por ejemplo, trabajos de emergencia para reparar deslizamientos y deslaves lo que resulta en que vía sea intransitable; los trabajos de mantenimiento durante el invierno como la remoción de la nieve o la agregación de sal también se incluyen aquí.

Desmantelamiento

El desmantelamiento solo se lleva a cabo para caminos forestales y caminos de acceso construidos para otros proyectos. Abarca las actividades que dan lugar a la estabilización de los caminos que no sean necesarios y su restauración a un estado más natural. Consiste en el bloqueo de la entrada a la carretera, revegetación, eliminación de puentes, eliminación de rellenos y cortes, establecimiento de vías de drenaje, eliminación de bermas inestables y completa obliteración, reconfiguración y restauración de los taludes naturales. El desmantelamiento de caminos es útil para reducir la descarga descontrolada de sedimentos, la restauración de la hidrología de las laderas, y la reducción de los impactos causados en los ecosistemas acuáticos, ribereños y terrestres debido a los cruces de las carreteras (Napper, sin fecha)

Tabla 3. Resumen de las diferentes etapas del ciclo del proyecto vial

Etapas	Descripción de la actividad
Planificación	Gobiernos nacionales, regionales y locales identifican necesidades y programas de transporte que se deben construir dentro de las limitaciones financieras.
Pre-Diseño	El Proyecto vial se define más claramente. Se analizan diferentes alternativas de ubicación y se desarrollan las características del diseño. Se selecciona el trazado.
Diseño	Se prepara el diseño final enfocándose en evitar o minimizar los impactos ambientales.
Construcción	Se preparan los documentos de licitación y se selecciona al contratista.
Operación y Mantenimiento	Trabajos para permitir el movimiento vehicular seguro y mantener la carretera en condiciones de funcionamiento.
Desmantelamiento	Restauración del medio ambiente alrededor de una carretera innecesaria a un estado más natural.

Secuencia típica en la construcción de una carretera

La construcción de una carretera generalmente sigue una secuencia preestablecida. Sin embargo, esta secuencia puede variar de acuerdo a las características de cada proyecto vial y el país donde se desarrolla. Cada etapa tiene diferentes impactos ambientales y sociales que se deben minimizar o evitar desde el inicio de la construcción. Una secuencia típica consiste en las siguientes etapas: pre-construcción, trabajos topográficos y tablestacado, desmonte y remoción de vegetación, construcción de caminos de acceso, remoción de obstrucciones, excavación, sub-bases y bases, pavimentación, re-vegetación y restauración de áreas perturbadas, y equipos para el control del tráfico. Un resumen de la secuencia de la carretera y las actividades ambientales y de la construcción y se presentan en el Apéndice 1 (Quintero 2012a).

Capítulo 3

Impactos ambientales causados por la infraestructura vial

El desarrollo vial puede afectar a los ecosistemas terrestres y acuáticos de diversas maneras. Los impactos típicos sobre la vida silvestre y el medio ambiente circundante incluyen la fragmentación del hábitat, la modificación y restricción de los movimientos de los animales, las lesiones y la mortalidad de las especies de la fauna silvestre, la erosión del suelo y las alteraciones hidrológicas, la contaminación ambiental y las perturbaciones inducidas por la colonización humana (Rajvanshi et al. 2001). Los impactos sobre la vida silvestre y los ecosistemas son más pronunciados en las zonas sensibles.

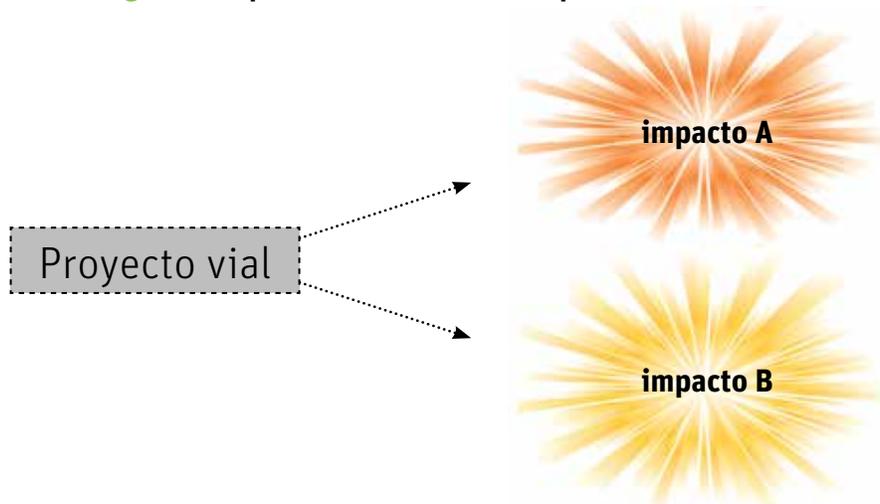
Se estima que las carreteras pueden requerir más de 10 hectáreas (ha) de tierra por kilómetro de carretera. Como una gran parte de esa superficie está cubierta/sellada, se pierde como hábitat natural. Aunque las carreteras provinciales y locales ocupan menos superficie por kilómetro, estas representan una parte importante del total de la red de carreteras, por lo que el efecto combinado de la construcción de carreteras en los hábitats naturales puede ser sustancial (Seiler y Folkson 2006). Mientras que la tierra utilizada por la construcción de carreteras es tangible, la influencia de la propia carretera en la fauna, vegetación, hidrología, y el paisaje circundante es difícil de estimar, pero puede ser significativa, contribuyendo más a la pérdida global y la degradación de los hábitats que la propia carretera.

Los impactos se pueden categorizar en tres grandes categorías: directos, indirectos y acumulativos

Impactos directos

Los impactos directos son los efectos primordiales asociados con la construcción y operación de una carretera. Por lo general, son fáciles de anticipar debido a la relación causa-efecto con las obras viales. (Rajvanshi et al. 2001) (Ver la Figura 2).

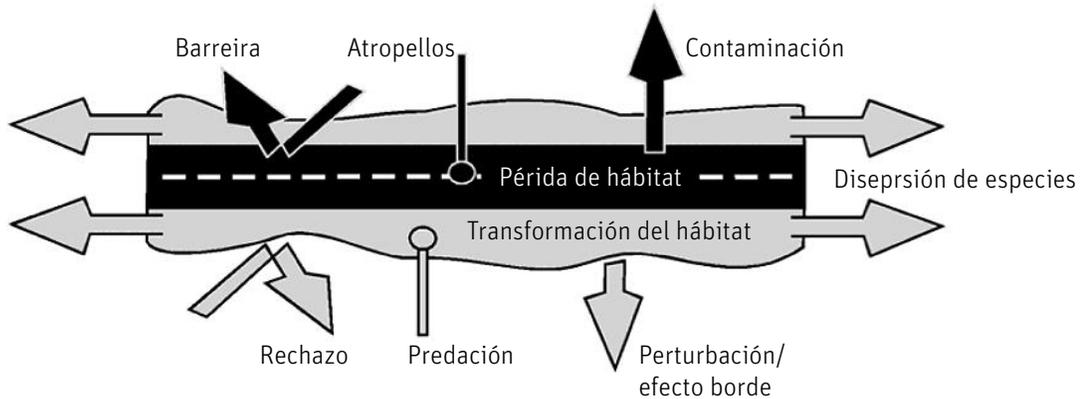
Figura 2. Impactos directos causados por el desarrollo vial



Los efectos directos sobre la vida silvestre incluyen: carreteras que actúan como barreras debido a la presencia de superficies viales destapadas o en tierra, alteración de los hábitats al lado de las carreteras, y la creación de una variedad de emisiones y perturbaciones tales como el ruido, el polvo, la iluminación, y los contaminantes en el suelo y la vegetación (Rajvanshi et. al 2001). El movimiento natural de los animales (para forraje, encontrar pareja, buscar refugio, llegar a los sitios de reproducción, y participar en interacciones sociales) se ve restringido, y muchos animales prefieren evitar las carreteras (ver la Figura 3).

Nota: las autopistas anchas con altos volúmenes de tráfico crean los niveles más altos de perturbaciones ecológicas directas y presentan las barreras más grandes para la vida asilvestre

Figura 3. Efectos ecológicos directos de las carreteras sobre la vida silvestre



Fuente: Seiler 2001.

Los niveles de contaminación son generalmente altos durante la construcción. El ruido de los equipos de construcción y del tráfico durante la operación influye en el comportamiento animal, creando alteraciones de los patrones de actividad, y puede aumentar la frecuencia cardíaca y el estrés. Altas concentraciones de metales pesados, así como de petróleo y de otros productos cerca de los bordes de la carretera trae cambios en la biodiversidad local y pueden influir en el comportamiento animal. Por ejemplo, altas concentraciones de algunos contaminantes como la sal (utilizada para prevenir la congelación de la carretera) cerca de las carreteras pueden atraer a los grandes mamíferos, lo que aumenta el riesgo de colisión vehicular (Trombulak y Frissell 2000).

La mortalidad debida a las colisiones de vehículos está bien documentada. La colisión de vehículos con animales, que es también una cuestión de la seguridad del tráfico, se produce con frecuencia cuando la red de carreteras bloquea las redes de migración de la fauna o el acceso a los alimentos o el agua (corredores biológicos). Los animales que se sienten atraídos por las carreteras o que deben cruzarlas son los más vulnerables. Estas especies incluyen, entre otras, los reptiles que se sienten atraídos por el asfalto calentado por el sol, herbívoros cercanos a las carretera como los ciervos, depredadores en busca de comida, y anfibios que migran (Trombulak y Frissell 2000; Rajvanshi et al., 2001). Aunque el número de individuos de la fauna que mueren debido a la carretera pueden ser pocos en términos absolutos, estas muertes pueden conducir a la extinción de las poblaciones locales y afectar la dinámica poblacional de especies amenazadas o en peligro de extinción. El número de colisiones generalmente aumenta con la intensidad del tráfico, la actividad animal y factores como el día y la época del año, la precaución de los conductores, y la integración de la carretera en el paisaje (Seiler y Folkeson 2006). Las muertes de aves también pueden ser significativas. Las carreteras cercanas o que cruzan humedales pueden dar lugar a una alta densidad y diversidad de aves que se ven obligadas a volar a través de los caminos, lo que aumenta el riesgo de mortalidad por accidentes de tráfico. Al mismo tiempo, las grandes aves como aves rapaces y búhos se sienten atraídas por las zonas verdes al margen de la carretera para cazar las pequeñas poblaciones de mamíferos y de aves cantoras que se concentran allí (Iuell et al. 2003).

Las prácticas de construcción deficientes pueden conducir a impactos tales como la erosión, la sedimentación, y la alteración de los patrones de drenaje (ver el Cuadro 1). La remoción de la vegetación o el material de grava procedente de canteras o zonas de préstamo también son efectos directos de la construcción de carreteras.

Cuadro 1. Erosión and Sedimentación

Un efecto directo severo de la construcción de carreteras es la erosión y la sedimentación, debido a que a menudo se remueve la vegetación, se alteran los drenajes naturales, y los agregados del suelo superficial son despojados como parte del proceso de nivelación. Las actividades de la construcción pueden causar y acelerar la erosión debido a la exposición de grandes extensiones de tierra a la lluvia y el agua de escorrentía. Si la escorrentía no se controla y trata adecuadamente, puede conducir a la sedimentación de los cursos de agua y a la degradación de los peces y los hábitats de la vida silvestre. El clima, el tipo de suelo, la topografía y la vegetación influyen en el grado de erosión. La estabilidad de taludes se puede alterar por la creación de cortes o terraplenes. La inclinación excesiva de los taludes, la deficiencia del drenaje, la modificación de los flujos de agua, y los taludes excesivamente cargados pueden causar deslizamientos de tierra. El costo de solucionar los impactos causados por la erosión y la sedimentación, una vez han ocurrido, puede ser significativo (GGHACA 2006).



Taludes inestables conducen a erosión y deslizamientos

Impactos Indirectos

Los impactos indirectos son generalmente el resultado de las actividades humanas asociadas con la construcción o mejoras de la infraestructura (Ledec y Posas 2003). Son consecuencia de los impactos directos (ver la Figura 4). La recolección ilegal de los recursos naturales, los cambios en el uso del suelo que pueden conducir a la degradación de hábitats o incluso a su destrucción, y los efectos hidrológicos aguas abajo son impactos indirectos típicos que pueden tener consecuencias importantes para el medio ambiente y los ecosistemas. La tala de los recursos forestales y la caza ilegales pueden conducir a la disminución de las especies. Una mayor expansión de las carreteras en y alrededor de los hábitats naturales es probable que aumenten los enlaces con zonas que antes eran inaccesibles para las redes de mercados.

To Note: Indirect impacts tend to be both more serious and more difficult to control and measure than direct impacts.

Figura 4. Impactos indirectos causados por el desarrollo vial

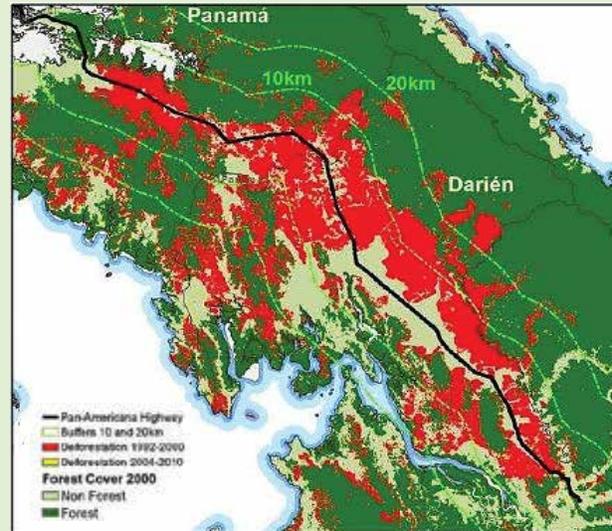


Fuente: Walker y Johnston 1999.

Cuadro 2. Autopista Panamericana, Panamá

La Autopista Panamericana se encuentra en la provincia del Darién en Panamá en el extremo oriental del país, y su longitud es de 262 km aproximadamente. Hay más de 10 áreas protegidas con importantes funciones ecológicas ubicadas en una franja de 30 kilómetros alrededor de la carretera. El monitoreo de los hábitats indicó que la pérdida de hábitats es mayor cuando están más cercanos a la carretera y que la mayoría de los cambios en los hábitats se produjo en la década de 1990, inmediatamente después de la construcción de la vía. La deforestación desde 2004 hasta 2011 fue inferior al 10% de los niveles de la década de 1990.

Entre 1992 y 2000 se registró una pérdida alarmante de 7% de la cubierta forestal total en Panamá, lo que equivale a 497.306 ha. Esta deforestación se localizó principalmente en las provincias de Panamá y el Darién y cerca de la carretera. Los impactos se produjeron principalmente en el área de influencia directa de la carretera (0-10 km). La provincia del Darién perdió 24% de sus bosques, y Panamá perdió 23%. La mayor parte de esta deforestación ocurrió en bosque nativo mixto con el fin de crear nuevas áreas de cultivo.



Fuente: Argote et al. 2012.

Adicionalmente, las actividades de construcción y mantenimiento pueden alterar los procesos hidrológicos aguas abajo y las condiciones geomorfológicas. Por ejemplo, la construcción de carreteras puede incluir la reubicación de canales, la obstrucción de humedales (que afectan la prevención de inundaciones), y la construcción de diques, drenajes, cortes y rellenos que pueden afectar negativamente la hidrología local. Las actividades mal planificadas pueden conducir a la erosión y la sedimentación de los cuerpos de agua. Además, los efectos de la erosión por las carreteras facilitan el desarrollo de cárcavas por debajo de sus estructuras de drenaje (como por ejemplo, debajo de culverts, badenes, rellenos de piedras) y pueden dar lugar a la extensión de los canales, el desvío de cauces fluviales existentes, y el aumento en la densidad del drenaje (Quintero 2012b). Estos impactos pueden, con el tiempo, dañar las condiciones acuáticas naturales, afectar la reproducción de las especies acuáticas, y la vida útil de la infraestructura aguas abajo (por ejemplo, embalses y puentes), y cambiar los sistemas de abastecimiento de agua que dependen de los ecosistemas de los hábitats naturales (Elliot, Foltz, y Luce 1997).

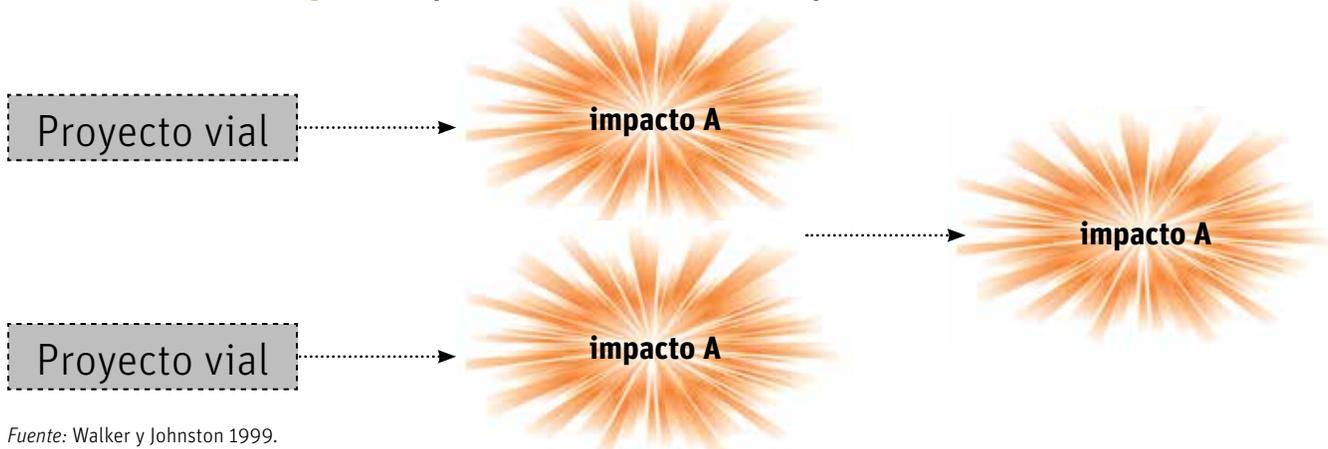
El desarrollo vial a menudo acelera los cambios de uso de la tierra, lo que resulta en la pérdida permanente de hábitats (ver el Cuadro 2). Los hábitats naturales pueden ser transformados en zonas para la agricultura, la minería, la acuicultura, los asentamientos humanos, y otros fines industriales ya que las carreteras mejoran las oportunidades para la explotación económica de los recursos en estas áreas (Quintero 2012b). Se estima que la agricultura comercial es uno de los motores más importantes (68%) de la deforestación y que la explotación forestal y extracción maderera representan más del 70% de la degradación de los bosques de América Latina y del Caribe (Hosonuma et al. 2012). El desarrollo vial, particularmente el desarrollo de autopistas, puede conducir inadvertidamente a un mayor comercio y tiendas cerca de las ciudades y de las paradas de descanso, lo que atrae a un gran número de personas. Estas áreas en última instancia se convierten en zonas urbanizadas (Rajvanshi et al. 2001).

Impactos acumulativos

Los impactos acumulativos son los cambios en el medio ambiente que son causados por una acción en combinación con otras acciones pasadas, presentes y futuras (Hegmann et al. 1999). Los impactos acumulativos son contextuales y abarcan un amplio espectro de impactos a diferentes escalas espaciales y temporales. Los impactos acumulativos pueden ocurrir debido a que se están desarrollando una serie de proyectos del mismo tipo o debido a múltiples proyectos dentro de la misma zona (CFI 2013) (ver la Figura 5). Los impactos acumulativos pueden tener lugar debido a: (i) un solo impacto que ocurre muchas veces durante un período del proyecto, por ejemplo voladuras durante la construcción; (ii) múltiples impactos interrelacionados que se producen en el mismo período de forma simultánea, como las carreteras que inducen a la competencia por los recursos, redefinen los límites del ámbito hogareño, e inducen al estrés en los animales; (iv) múltiples impactos sin relación directa o indirecta, como el efecto de barrera, la colonización humana, y la contaminación de hábitats (Rajvanshi et al. 2001). En todos los casos, los impactos individuales no pueden considerarse de forma aislada, sino como componentes de los efectos acumulativos más graves. Los impactos acumulativos también pueden describirse como la sumatoria de todos los impactos, sinérgicos (impactos que interactúan para producir un impacto mayor que la sumatoria de los impactos individuales) o antagonistas (impactos que se contrarrestan entre sí, lo que reduce el impacto general) (Morris y Therivel 1995). Los impactos acumulativos pueden durar muchos años, más allá de la vida del proyecto que causó los efectos.

Nota: Impactos ambientales y sociales múltiples y sucesivos de proyectos existentes, junto con impactos incrementales potenciales de futuros proyectos propuestos podrían resultar en impactos acumulativos que no serían capturados por el análisis de un solo proyecto.

Figura 5. Impactos acumulativos causados por el desarrollo vial



Fuente: Walker y Johnston 1999.

Los impactos acumulativos también pueden tener lugar cuando se producen numerosas acciones durante un breve período de tiempo dentro de un área limitada. En este caso, se podría exceder cierto umbral y el medio ambiente podría no ser capaz de recuperarse a las condiciones existentes antes de la perturbación. También, cada nueva acción puede inducir otras acciones, y añadir a los efectos acumulativos que ya están ocurriendo (Hegmann et al. 1999).

Problemas con la modificación y la fragmentación de hábitats

La fragmentación es el proceso de romper bloques contiguos en bloques aislados de menor tamaño. Todas las especies requieren un hábitat mínimo para mantener sus poblaciones. La construcción de carreteras conduce a modificaciones de hábitats y crea barreras entre bloques de hábitats, afectando el umbral para muchas especies, ya que bloques más pequeños pueden ser inviables para su supervivencia, lo que conduce a la extinción de poblaciones locales (Autopistas Somerset 2005; Quintero 2012b). La fragmentación puede reducir el flujo de genes entre los miembros de una población una vez contigua ya sea de fauna o flora (por ejemplo, la migración para la reproducción o polinización), reducir la riqueza de especies y cambiar composición y función de comunidades enteras (Frankham, Ballou y Briscoe 2002; Haddad et al., 2015). La pérdida de superficie, el incremento en el aislamiento y una mayor exposición a la tierra para usos humanos a lo largo de bordes fragmentados inician cambios a largo plazo en la estructura y función de los fragmentos restantes (Haddad et al. 2015).

Nota: La fragmentación de grandes hábitats de vida silvestre en pequeños parches es uno de efectos más significativos asociados con las obras viales.

Un solo camino puede convertir un hábitat en unidades aisladas, mientras que una red de carreteras nuevas puede reducir un hábitat contiguo a un gran número de fragmentos discretos. Como las carreteras actúan como barreras para el movimiento y la dispersión, se crean más hábitats de borde y los efectos de borde penetran más en los hábitats. Estos procesos pueden, a su vez, contribuir a una mayor pérdida de hábitat a medida que el número de individuos de una especie en particular cambia. El aislamiento de las poblaciones generalmente lleva a su disminución y eventual desaparición, en detrimento del ecosistema. La naturaleza de los hábitats se cambia con la creación de nuevos ecotonos (donde se encuentran áreas sin vegetación con áreas boscosas) a lo largo de los bordes de los nuevos fragmentos. (Rajvanshi et al. 2001).

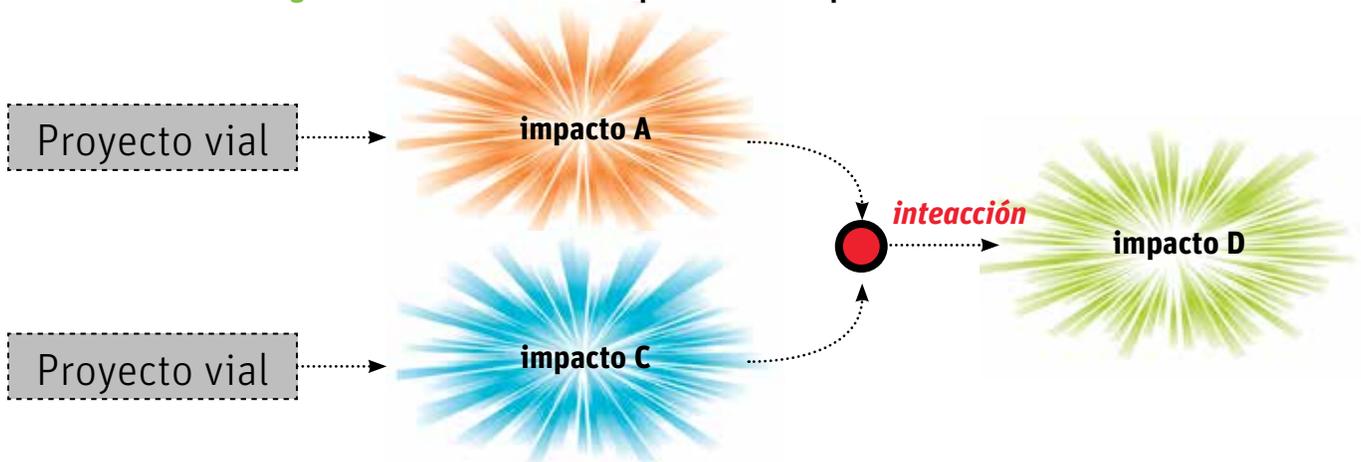
Los estudios realizados por Haddad et al. (2015) indican que, si bien la fragmentación tiene resultados perjudiciales, también puede dar lugar a aumentos inesperados en la abundancia de algunas especies, aunque no la especie original, dependiendo de las condiciones locales. Se requieren más estudios basados en las tecnologías más recientes e información científica para entender completamente el efecto de la fragmentación en la diversidad de las especies. Sin embargo, es evidente que la fragmentación de hábitats por las redes de transporte y los desarrollos secundarios consecuentes se ha convertido en una de las más graves amenazas mundiales para la diversidad biológica. Se estima que los efectos de la fragmentación pueden ser prevalente incluso a una distancia de 1.000m de la superficie de la vía y algunas veces a distancias mayores que esta.

Interacción de los impactos

El efecto potencial de las reacciones entre los impactos, ya sea entre los impactos de un solo proyecto o entre los impactos de otros proyectos en la zona es también un factor importante a considerar (ver la Figura 6). El impacto resultante puede ser más severo que el impacto individual. Por ejemplo, dos desarrollos importantes que se construyen adyacentes uno del otro durante períodos de tiempo superpuestos pueden tener muchos efectos interactivos, desde cambios en el uso del suelo hasta ruido debido a las actividades de la construcción y operación. (Walker y Johnston 1999).

La interacción entre los impactos de proyectos específicos es el resultado de los impactos directos, indirectos y acumulativos del proyecto, mientras que la interacción entre varios proyectos es acumulativo (Morris y Therivel 1995). Los impactos derivados de las interacciones pueden ser a largo plazo y pueden continuar durante la operación de los proyectos. La relación entre los diferentes impactos es compleja, y es a menudo difícil de distinguir entre impactos, particularmente indirectos, inducidos, y los acumulativos. En la Tabla 4 se presenta la naturaleza y la escala de los diferentes impactos.

Figura 6. Interacción de los impactos causada por el desarrollo vial



Fuente: Walker y Johnston 1999.

Debe tenerse en cuenta también la interacción debido a diversas cuestiones ambientales o amenazas como la fragmentación y el cambio climático. Mientras que la fragmentación y el cambio climático afectan los hábitats de las especies directamente, el efecto indirecto de ambos factores en las interacciones entre especies puede tener implicaciones sobre la estructura y funcionamiento de las comunidades de especies (Klapwijk y Lewis sin fecha). Cambios de rango debido al cambio climático y la fragmentación pueden alterar la composición y estructura de las redes alimentarias ecológicas, afectando en última instancia, la supervivencia de las especies.

Tabla 4. Relación entre los diferentes tipos de impactos

	Impactos directos	Impactos indirectos	Impactos acumulativos
Causados por	Las actividades del proyecto	Las actividades del proyecto pero ocurren más tarde o más lejos que los impactos directos	Las actividades del proyecto en combinación con condiciones preexistentes y las acciones de otras actividades
Período de tiempo	Presente	Presente y futuro	Pasado, presente, y futuro
Rango del efecto	Dentro y en las inmediaciones de los límites del proyecto	Dentro y cerca del área geográfica donde el proyecto puede influir en los cambios directos	Múltiples áreas; cada recurso específico tiene su propio rango dentro del cual su condición se puede afectar

Fuente: Adaptado de TxDOT 2009.

Impactos potenciales de las carreteras sobre las áreas sensibles

En las áreas ambientalmente sensibles, los impactos y las interacciones resultantes pueden ser más graves. Por lo general, las áreas sensibles son aquellas que tienen características ambientales específicas que requieren protección y que son sensibles a los impactos ambientales y socioculturales causados por los desarrollos viales (MPW 2008). Los impactos potenciales en una serie de áreas sensibles se presentan en la Tabla 5, y los impactos en los cuerpos de agua, los bosques y las cavernas – que son algunas de las áreas sensibles más comúnmente encontradas en el desarrollo de los proyectos de carreteras – se describen más detalladamente aquí.

Cuerpos de agua

La construcción de carreteras a través de los cuerpos de agua como ríos, quebradas o arroyos puede afectar el movimiento de animales acuáticos y puede aislar y dividir poblaciones. Cuando se cruza una red de drenaje natural se puede cambiar el flujo natural de las aguas superficiales y causar inundaciones o aumentar la velocidad de las corrientes, provocando la erosión y la sedimentación aguas abajo. La excavación del suelo normalmente baja el nivel freático, mientras que el relleno puede aumentar con frecuencia el nivel freático en las zonas aledañas. Se puede degradar la calidad del agua y contaminar las aguas subterráneas. Los caminos que pasan cerca o en ocasiones a través de los manglares y los humedales pueden causar destrucción severa y rápida de los ecosistemas al interferir con la descarga natural y crean un desequilibrio salino, dando lugar a una mortalidad masiva de todos los organismos que no toleran los nuevos niveles de salinidad (ver el Cuadro 3).

Cuadro 3. Carretera Ciénaga-Barranquilla, Colombia

La carretera Ciénaga-Barranquilla atraviesa la Ciénaga Grande de Santa Marta, que contiene manglares, bosques secos tropicales, pastizales, plantaciones, agricultura de subsistencia, y humedales marinos a través de miles de kilómetros en la costa Caribe colombiana. Es una rica fuente de comida de mar para las comunidades locales y para las ciudades costeras y del interior.

La construcción de la carretera Ciénaga-Barranquilla cortó todas menos una de las conexiones naturales entre el complejo de la laguna y el océano, cambiando así la hidrología del complejo de humedales. Esto resultó en una mortalidad sustancial de los manglares (cerca del 70%), lo que afectó a las poblaciones de peces que dependen de los manglares. En alrededor de los 10 años entre 1980 y 1990, la biomasa de peces se redujo en un 70%. Para el año 2005 se produjo un descenso del 41% en el volumen de captura en comparación con la década anterior, y los pescadores locales experimentaron una disminución del 35% en sus ingresos.

El impacto sobre la hidrología no sólo se debió a la construcción de la vía, sino también a los efectos acumulativos de la infraestructura y el desarrollo económico en cercanías y aguas arriba de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Las carreteras y la construcción de represas en el río Magdalena, junto con la expansión de las plantaciones y la ganadería han contribuido a la reducción de los flujos de agua dulce, al aumento de la sedimentación, y de la contaminación por nutrientes en los cursos de agua, lagunas y humedales.

Fuente: Mandle, Griffin y Goldstein 2014.

Áreas forestales

El desarrollo vial en áreas forestales tiene el potencial de causar impactos sobre los componentes físicos y biológicos del medio ambiente (MPW 2008).

- ▶ La construcción de carreteras nuevas en áreas forestales reduce la cobertura forestal y causa otros impactos adversos, tales como la reducción de la cobertura vegetal y de los hábitats de la vida silvestre y puede inducir otros impactos sobre los componentes físicos y biológicos (ver el Cuadro 4).
- ▶ Durante la etapa de operación, una carretera que atraviesa o esta adyacente a un área forestal, tiene el potencial para facilitar la extracción ilegal de los recursos como son la tala de bosques, la minería, la pesca y el contrabando de la vida silvestre.
- ▶ Además de la tala ilegal, también puede ocurrir la ocupación ilegal de las zonas forestales por parte de las comunidades locales y la recolección y destrucción de la flora y fauna protegidas. La ocupación ilegal de las áreas forestales puede ocurrir ya que los bosques son una fuente de ingresos muy valiosa para las comunidades aisladas y vulnerables y los recursos de la tierra son de mucha utilidad para aquellos que requieren de tierras adicionales para la generación de ingresos, en especial los pequeños agricultores o trabajadores agrícolas. Este uso y ocupación ilegal perturban significativamente las funciones de conservación de los bosques.
- ▶ La existencia de carreteras nuevas en áreas forestales puede estimular el cambio en el uso de la tierra a lo largo del corredor vial por el establecimiento de asentamientos espontáneos y otros usos.
- ▶ La existencia de carreteras en áreas forestales puede causar la fragmentación de los ecosistemas en los bosques afectados. Además, el tráfico vehicular puede molestar a la fauna, incluso a las especies protegidas.

Cuadro 4. Pérdida de hábitats: Autopista Trans-Chaco, Paraguay

El estado de los hábitats en el país se monitoreó cada 16 días desde el 1 de enero de 2004 hasta 31 de diciembre de 2010. Se determinó que la pérdida acumulada de hábitat durante los siete años analizados fue de 1.767.163 hectáreas en todo el país, lo que equivale a una tasa anual de 252.452 ha/año. La región más afectada fue la del Chaco Seco, que registró 93% de la deforestación.

La autopista Trans-Chaco es de 736 km de largo aprox., y se extiende desde la frontera entre Bolivia y Paraguay. Se observó un aumento de la deforestación dentro de una zona de amortiguación de 20 a 50 km de la carretera, con la red de carreteras secundarias ramificándose hacia fuera de la Trans-Chaco contribuyendo al aumento de la pérdida de hábitat. Se estima que desde 2004 se perdieron alrededor de 650 mil hectáreas en un área de amortiguación de 50 kilómetros. Las altas tasas de conversión muestran que la vía puede considerarse como una fuerza permisiva, ya que facilita el acceso a zonas remotas y causa impactos negativos considerables dentro de su área de influencia.

La carretera Trans-Chaco está a unos 150 km del Parque Nacional Defensores del Chaco y no tiene una influencia directa sobre la deforestación en torno a los límites del parque. Sin embargo, la deforestación causada por la carretera que conecta a Mariscal Estigarribia y por las carreteras secundarias de la zona está poniendo una cantidad alarmante de la presión sobre ésta y otras áreas protegidas.

Las principales causas del cambio son la conversión indiscriminada de bosques a pastizales o a tierras agrícolas influenciada por los altos precios de las materias primas, la colonización de tierras, y una ausencia casi total del control del uso del suelo. Con el tiempo, salvo que se realicen cambios drásticos en las políticas de conservación o de uso de suelo, la deforestación continuará su avance hacia las áreas protegidas.

Tasa de deforestación promedia antes de la vía: 23.000 ha.

Tasa de deforestación promedia posterior a la vía: 97,000 ha.

Fuente: Argote et al. 2012; Reymondin et al. 2013.

Cavernas

Las carreteras pueden incrementar el acceso no regulado o ilegal a las cavernas, causando molestias o la destrucción de la flora y fauna locales. Las obras viales pueden afectar el patrón de drenaje natural de las cavernas, perturbando su hidrología. Pueden ocurrir también cambios en los patrones del flujo de aire de las cavernas, modificaciones a los microclimas, y la introducción de cuerpos extraños dentro de éstas.

Tabla 5. Impactos potenciales en áreas sensibles

Sensitive Area	Potential Impacts
Recursos forestales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fragmentación ▶ Conversión/cambio en el uso del suelo ▶ Deforestación/tala de recursos forestales ▶ Reducción de la diversidad de especies ▶ Efectos sobre las especies endémicas ▶ Efectos sobre las especies amenazadas o en peligro de extinción ▶ Impactos acumulativos
Hábitats acuáticos (Pantanos, estanques, lagos, arroyos, ríos, humedales, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Drenaje de humedales ▶ Anegamiento (permanente, estacional) ▶ Floraciones de algas ▶ Degradación por construcción de presas para el almacenamiento de agua, riego, recreación ▶ Perturbación directa (actividades cercanas al humedal) ▶ Pérdida de la biodiversidad ▶ Contaminación
Arrecifes coralinos	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Contaminación ▶ Destrucción ▶ Pérdida del hábitat crítico para los peces de arrecife ▶ Decoloración del coral ▶ Floraciones de algas ▶ Extinción de especies ▶ Pérdida del turismo ▶ Erosión costera ▶ Sedimentación
Costera y ribereña	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Desmonte ▶ Pesca ▶ Tala (para leña o carbón) ▶ Cambios Hidrológicos ▶ Contaminación ▶ Residuos sólidos ▶ Pisoteo ▶ Escurrimiento de sedimentos
Pastizales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Degradación ▶ Conversión/ganadería ▶ Reducción en la diversidad de especies ▶ Efectos sobre las especies endémicas ▶ Efectos sobre las especies amenazadas o en vías de extinción
Cavernas	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mayor acceso a las cavernas ▶ Alteración del flujo de aire ▶ Destrucción ▶ Pérdida de la flora y fauna endémicas ▶ Contaminación/lixiviación de sustancias químicas ▶ Cambios en el uso del suelo circundante ▶ Cambios en la hidrología de la caverna
Desiertos	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Degradación ▶ Introducción de especies invasoras ▶ Explotación of cactus y reptiles ▶ Pérdida de la flora y fauna endémicas
Sabana	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Desertificación y suelos estériles ▶ Caza o captura ilegales
Mountain	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impactos sobre las comunidades de plantas frágiles

Identificación de los impactos durante el ciclo del proyecto

Los impactos son típicamente más pronunciados y visibles en las etapas de construcción y operación. En la etapa de planificación, no hay actividades *in situ* que puedan llevar a cambios físicos en el entorno del sitio del proyecto. Durante esta etapa, deben darse los pasos para primero, evitar y luego, minimizar y mitigar los impactos. Son claves para evitar los impactos la selección del sitio, el análisis de los efectos de fragmentación y la ubicación del proyecto en relación a las áreas sensibles. Durante la etapa de pre-diseño, los impactos también son mínimos pero pueden ocurrir durante la selección de la alineación debido a la titulación de tierras, el desarrollo de las vías de acceso, o investigaciones del suelo que pueden requerir algún desmonte del terreno. En la Tabla 6 se presentan las descripciones detalladas de los posibles impactos causados por las actividades llevadas a cabo durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento.

Tabla 6. Potential Environmental and Social Impacts during Construction, Operation, and Maintenance

Actividad	Impactos potenciales
Fuerza laboral	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Construcción de campamentos nuevos ▶ Incremento en la demanda por infraestructura y servicios públicos ▶ Problemas entre los trabajadores externos y las comunidades locales ▶ Robos y abuso de drogas ilícitas y alcohol ▶ Nivel de vida e ingresos de los residentes afectados por la posible ocupación de tierras agrícolas ▶ Distorsión del mercado debido a la demanda sobre la economía local ▶ Desempleo de la mano de obra local ▶ Perturbación de las actividades culturales, medios de vida y el bienestar de los habitantes locales ▶ Desempleo de los trabajadores locales
Instalación de los campamentos para los trabajadores y los sitios de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Generación significativa de aguas residuales y residuos sólidos ▶ Almacenamiento y disposición inadecuada de los residuos ▶ Contaminación del suelo, el agua superficial y subterránea debido a los derrames y fugas de materiales peligrosos como productos derivados del petróleo, químicos, o desechos peligrosos ▶ Contaminación de los cursos de agua y las tierras agrícolas con aguas residuales y desechos sólidos
Erosión y sedimentación	<p>La excavación de taludes y de la vía, el relleno y la pavimentación de la superficie de rodadura, el tratamiento de la fundación de los puentes, el almacenamiento de materiales, las plantas de concreto, la operación de la maquinaria de construcción pueden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Destruir la vegetación superficial ▶ Agravar la erosión del suelo ▶ Disminuir la capacidad de conservación del suelo
Emisiones y polvo (calidad del aire)	<p>Las fuentes de contaminación del aire durante la construcción que pueden ser un problemas molesto y causar problemas de salud son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Emisiones de polvo debido a la exposición al viento de taludes erosionados, zonas de almacenamiento de materiales descubiertos, movimientos de tierra y excavaciones ▶ Emisión de polvo debido a las voladuras. ▶ De producido por los vehículos y las vías sin pavimentar ▶ Producción de viento durante el transporte vehicular de materiales en las vías sin pavimentar ▶ Emisión de gases de las plantas mezcladoras o trituradoras, o estaciones de mezclado de concreto ▶ Emisión de gases durante la pavimentación de la superficie de rodadura con asfalto ▶ Emisión de contaminantes del aire de los escapes de los vehículos y plantas como CO, CO₂, NO_x, y SO₂. <p>Air pollution problems during the operation phase are:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Exhaust from vehicles (e.g. CO, NO_x) that may deteriorate air quality in tunnel and at nearby sensitive receptor locations. ▶ Gases emissions during road maintenance and resurfacing of road (e.g. asphalt plant).

Actividad	Impactos potenciales
Ruidos y vibraciones	<p>Las perturbaciones a los habitantes y trabajadores y los daños a las estructuras pueden ser causados por:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Operación de diferentes equipos durante las labores constructivas como compresores de aire, mezcladoras de concreto, generadores, buldóceres, excavadoras, etc. ▶ Transporte motorizado de los materiales dentro del sitio de construcción y por fuera de sus límites. ▶ Actividades de pilotaje durante la construcción de fundaciones, muelles, etc. ▶ Sistemas de ventilación durante la construcción de túneles ▶ Voladuras y vibraciones durante la construcción de túneles ▶ Durante la etapa de operación, el ruido puede producirse por: <ul style="list-style-type: none"> ▶ El tráfico vehicular y las bocinas de los automóviles. ▶ áreas de servicio y parqueaderos ▶ Plantas de construcción durante el mantenimiento vial
Movimientos de tierra, excavaciones, cortes, rellenos, zonas de préstamo, canteras, sitios de disposición de residuos o botaderos, sitios de almacenamiento de materiales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pérdida de la capa vegetal lo que afecta las áreas agrícolas ▶ Inestabilidad del terreno por la remoción incorrecta del terreno o la disposición inestable de los desechos de la construcción, lo que produce deslizamientos o erosión ▶ Descarga de sedimentos en los cuerpos de agua, tierras agrícolas, drenajes, canales de irrigación, etc. ▶ Erosión de las riberas de los ríos, taludes, terraplenes, áreas agrícolas ▶ Ruido y vibraciones ▶ Emisiones de polvo que afectan la salud ▶ Perturbaciones o daños a los recursos culturales físicos ▶ Danos sobre las tierras agrícolas o la vegetación nativa ▶ Impactos visuales
Disposición de escombros, demolición de estructuras	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Daños a las áreas forestales, contaminación a los cursos de agua, e impactos sobre el suelo por la disposición inadecuada de los residuos de la construcción, de los vehículos y maquinaria ▶ Lesiones a los trabajadores y a la población en general por la caída de escombros u objetos que salen disparados al aire.
Construcción de túneles	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Actividades constructivas a gran escala que pueden generar gran cantidad de residuos ▶ Erosión del suelo. ▶ Ruido y vibraciones, deslizamientos, impactos sobre los trabajadores, los animales y las comunidades circundantes causados por las voladuras ▶ Afectación a los trabajadores por el polvo y los gases causados por la maquinaria pesada y el equipo de la construcción ▶ El agua residual producida durante la construcción de los túneles puede contaminar los cuerpos de agua aguas abajo si no se trata adecuadamente. ▶ Seguridad por movimiento vehicular en el túnel
Desmonte y remoción de vegetación de las áreas de construcción	<p>Las Actividades constructivas a gran escala, la alteración del perfil del suelo y la remoción de la vegetación pueden conducir a:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Erosión del suelo e impactos visuales ▶ Pérdida de áreas productivas o vegetación que afectan los hábitats y los medios de subsistencia ▶ Perdida de hábitats y vegetación para la fauna ▶ Afectación de los hábitats acuáticos por la descarga de sedimentos y materiales vegetales en los cursos de agua ▶ Afectación de los canales de irrigación y las áreas agrícolas por sedimentos y material vegetal.
Paisajismo, impactos visuales y restauración de áreas	<p>Los impactos visuales sobre el paisaje durante la construcción pueden resultar de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Diseño estético y paisajístico pobre o inadecuado de las obras viales propuestas ▶ Medidas de mitigación temporales mal implementadas y protección de taludes mal realizados durante las etapas de excavación y estabilización de taludes <p>Después de terminada la vía y antes de entrar en operación los impactos visuales y paisajísticos pueden resultar de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Inadecuada re-vegetación compensatoria al final de la construcción con especies vegetales no autóctonas ▶ Re-vegetación con especies visualmente incompatibles con el medio circundante ▶ Falta de un mantenimiento adecuado/riego de la vegetación recién plantada ▶ Falta de restauración apropiada de las áreas intervenidas como zonas de préstamos o canteras, sitios de almacenamiento o disposición de materiales, campamentos y sitios de trabajo, áreas debajo de los puentes, y áreas ocupadas temporalmente

Actividad	Impactos potenciales
Calidad del agua	<p>Contaminación del agua subterránea y los cursos de agua, los hábitats naturales y las tierras agrícolas producida por:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Aguas residuales generadas por los equipos de la construcción (por ejemplo, descarga descontrolada de bentonita de las máquinas de perforación de túneles) ▶ Aguas residuales de las fundaciones y pilotes perforados ▶ Re-suspensión de los sedimentos del lecho del río y lodos causados por el cruce de ríos y por la construcción de las fundaciones de los puentes dentro de los ríos ▶ Descarga de sedimentos de los terrenos erosionados, las zonas de almacenamiento descubiertas, los sitios de excavación y taludes mal protegidos, durante condiciones climáticas adversas ▶ Aguas de escorrentía que descargan sedimentos directamente en los cuerpos de agua naturales, como arroyos, ríos, lagos, estanques de peces, canales de irrigación, etc. ▶ Aguas residuales domésticas generadas por los trabajadores de la construcción, las cocinas, las duchas, los campamentos, etc. <p>Los principales problemas de calidad del agua durante la operación del proyecto son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Aguas residuales generadas durante la limpieza rutinaria de la carretera y aguas de escorrentía en la superficie de la vía durante lluvias intensas ▶ Contaminación de cuerpos de agua cercanos debido a las fugas de combustible de los vehículos accidentados, aceites hidráulicos, materiales o sustancias tóxicas etc. ▶ Descargas de aguas residuales sin tratar de las áreas de servicio, zonas de parqueo y estaciones de peaje.
Residuos sólidos, químicos y peligrosos	<p>Daños a las áreas forestales, contaminación de los cuerpos de agua, los hábitats naturales, y las áreas agrícolas debido a la disposición inadecuada de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Materiales excavados excedentes de las actividades de la construcción y de los cortes de taludes ▶ tablas de madera utilizadas para los andamios o los trabajos de excavación de zanjas, materiales de la construcción, contenedores de combustibles, lubricantes, pinturas, etc. ▶ Desechos generados por las demoliciones de casas o edificios existentes afectados por el proyecto o la rotura de superficies de concreto ▶ Desechos sólidos producidos por los trabajadores, los campamentos y sitios de trabajos, las cocinas, los sanitarios, etc. ▶ Desechos peligrosos tales como aceites, lubricantes, disolventes y materiales contaminados como resultado de la fuga de aceite y combustible ▶ Manejo y almacenamiento inadecuados de sustancias químicas y peligrosas y materiales de la construcción.
Trabajos en los cuerpos de agua	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Descargas de sedimentos en los cuerpos de agua que afectan los hábitats acuáticos ▶ Cambios en hábitats debido al cambio en el lecho del río o sus riberas ▶ Erosión de las riberas de los ríos ▶ Introducción de especies invasoras ▶ Cambios en las rutas de los cursos de agua, lo que puede bloquear los pasos de los peces y afectar los hábitats acuáticos ▶ Descargas de combustibles, aceites, lubricantes al agua que afectan la calidad del agua
Consideraciones ecológicas (fauna y flora)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Destrucción de la vegetación nativa y los terrenos fuera de las zonas de trabajo propuestos. ▶ Daños a las áreas forestales ▶ Pérdidas de hábitats y vegetación para la fauna debido al desmonte y descapote ▶ Destrucción o alteración de la vida acuática debido a los trabajos en los ríos y cuerpos de agua ▶ Ocupación de tierras en áreas ecológicamente sensibles ▶ Daños a las zonas forestales y cursos de agua cerca de los campamentos y sitios de trabajo ▶ Caza ilegal de fauna silvestre por los trabajadores de la construcción ▶ Falta de reconfiguración de hábitats perdidos y recomposición ecosistemas diversos <p>Los impactos durante la etapa de operación incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ El ruido del tráfico y la iluminación pueden obligar a la fauna silvestre a abandonar sus hábitats naturales. ▶ La falta de evaluación del éxito en la reconfiguración de hábitats y la identificación de nuevas medidas para mejorar las condiciones ecológicas. ▶ Los accidentes de tráfico con la fauna que cruza la vía

Actividad	Impactos potenciales
Seguridad en los sitios de la construcción	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Riesgos asociados con una inadecuada ventilación o incendios en ambientes encerrados como túneles ▶ Fugas de agua en los túneles durante su construcción ▶ Colapsos dentro de los túneles cuando se perfora a través de capas de tierra geológicamente inestables ▶ Riesgo de plataformas inestables o caída de objetos y escombros ▶ Riesgos asociados con voladuras e incendios ▶ Riesgos asociados con los equipos y los movimientos vehiculares dentro y fuera de las áreas constructivas
Manejo del tráfico	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Congestionamiento de tráfico durante la construcción, debido al aumento del tráfico pesado (de la propia construcción y de desvíos de tráfico) en vías de alto tráfico rampas de salida, y carreteras locales o provinciales ▶ Degradación de las carreteras locales debido a los equipos y maquinaria pesados de la construcción y a los desvíos del tráfico ▶ Problemas de seguridad para los peatones especialmente niños y estudiantes durante la construcción ▶ Incremento en los accidentes de tráfico.
Vías de acceso y conexión	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aumento del ruido, el polvo y los contaminantes del aire causados por los vehículos de la construcción que utilizarán las carreteras locales y provinciales existentes ▶ Problemas de seguridad de los peatones, especialmente para los niños y estudiantes ▶ Los vehículos adicionales utilizados para el transporte de materiales pueden provocar atascos y accidentes en las vías locales existentes. ▶ La construcción de nuevas vías de acceso puede afectar la calidad del agua, destruir la capa vegetal existente, causar cambios en el relieve del terreno en ciertas áreas, afectar y crear superficies descubiertas más propensas a la erosión.
Relaciones con la comunidad	<p>La falta de comunicación y consulta con las comunidades locales puede conducir a:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Oposición al proyecto vial, ▶ Demoras en el proceso de construcción ▶ Aumento de los costos ▶ Soluciones insatisfactorias
Salud	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Diseminación de enfermedades debido a la acumulación de desechos domésticos y al mantenimiento inadecuado de los campamentos y sitios de la construcción ▶ Aguas estancadas que pueden conducir a la reproducción de mosquitos ▶ Riesgos de enfermedades de transmisión sexual (como HIV/SIDA) a las comunidades locales por comportamientos sexuales inadecuados ▶ Enfermedades traídas por los trabajadores externos
Aspectos culturales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Los sitios y herencias culturales pueden verse afectados por los proyectos viales

Algunas veces puede ser difícil distinguir claramente entre los diferentes tipos de impactos, particularmente entre los impactos indirectos y acumulativos, ya que los impactos acumulativos son aquellos de naturaleza similar pero de mayor intensidad. A modo de ejemplo, la Tabla 7 presenta impactos directos potenciales sobre la vida silvestre y sus impactos indirectos y acumulativos correspondientes durante el ciclo del proyecto.

Es evidente que la planificación de la infraestructura debe llevarse a cabo a nivel del paisaje para capturar todos los posibles impactos desde las perspectivas locales y regionales, integrando las cuestiones económicas, sociales y ambientales. El mantenimiento de la conectividad de hábitats es esencial para la supervivencia de muchas poblaciones de la vida silvestre. Las poblaciones pueden sostenerse cuando el impacto está por debajo de un umbral crítico, pero más allá de este umbral, incluso pequeños cambios en el entorno pueden causar efectos inesperados e irreversibles (tales como la extinción de las poblaciones locales). Cuanto más grande es la escala espacial en cuestión, más largo es el tiempo que transcurre hasta que los efectos se puedan detectar. Esto pone de relieve la necesidad de analizar la fragmentación y la realización de evaluaciones de impactos acumulativos (ver el Capítulo 4).

Tabla 7. Impactos potenciales sobre la vida silvestre

Actividad	Impactos directos más importantes	Impactos indirectos	Impactos acumulativos
Etapas de planificación y pre-diseño			
Ubicación del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impactos potenciales debido a la selección inapropiada del sitio del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Afluencia de gente a las áreas donde se podrían construir carreteras para lograr compensación monetaria 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Presión sobre los recursos naturales
Etapas de diseño			
Promoción de buenas prácticas tales como cruces de fauna, medidas para el control de la erosión, señalizaciones, control de la escorrentía, etc.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Impactos mínimos sobre la flora y la fauna 		
Adquisición de tierras	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Desplazamiento de personas 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Presión sobre los recursos forestales si la gente se mueve a las áreas forestales 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Disminución de la vida silvestre y de los recursos forestales no maderables
Etapas de construcción			
Desmonte y remoción de vegetación	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pérdida o degradación de hábitats 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reducción en el uso de hábitats 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Disminución de la población y diversidad de la vida silvestre
Descapote del derecho de vía	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pérdida o degradación de hábitats 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reducción en diversidad estructural, aumento en aislamiento de hábitats 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reducción en tamaño de población e integridad
Construcción y operación de vías	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Barreras para la dispersión de especies ▶ Impactos relacionados con la construcción; ruido, polvo, tráfico y seguridad, residuos, erosión, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Uso desproporcionado de los hábitats ▶ Perturbaciones a las poblaciones de la vida silvestre 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Competencia por los recursos y límites redefinidos para el área de distribución de especies ▶ Incremento del estrés en los animales
Construcción de vías en terrenos inestables	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Erosión del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sedimentación de los cuerpos de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Degradación de los hábitats acuáticos, disminución de las especies
Actividades de la construcción, voladuras, movimiento vehicular	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Estrés en los animales 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cambios en el comportamiento y trastornos fisiológicos en los animales 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aumenta la mortalidad; se reduce la fertilidad
Construcción de vías de acceso temporales para las canteras	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Facilita el acceso público 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aceptación eventual de la carretera como algo permanente 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ La colonización estimula la conversión de los hábitats de la carretera
Construcción de vías en ecosistemas montañosos	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Barreras para la migración vertical y dispersión de las especies 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Subdivisión de poblaciones en hábitats previamente conectados 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Amenazas al carácter endémico del ecosistema montañoso
Construcción de vías en áreas costeras	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Alteración del ciclo de las mareas en los manglares y pantanos 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aumento o disminución de la salinidad 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cambios en calidad de hábitat y composición de especies
Alineación de la vía a través de los hábitats de la vida silvestre	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mayor acceso a áreas de hábitats prístinos de la vida silvestre 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Desarrollo no planificado ▶ Caza o captura ilegales 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Disminución de la calidad de los hábitats, reducción de las especies

Actividad	Impactos directos más importantes	Impactos indirectos	Impactos acumulativos
Relocalización de canales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Alteración de la dirección del flujo del agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Degradación de los humedales que dependen de las inundaciones ▶ Disminución de la recarga del agua subterránea ▶ Aumento en el caudal de los arroyos receptores 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Amenaza a la conservación de algunas especies de los humedales ▶ Sequía localizada, disminución de la productividad ▶ Reducción de la idoneidad del hábitat para algunas especies, afectando la composición de las especies
Etapas de mantenimiento			
Poda de vegetación en las márgenes de la carretera	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cambios en la composición de la vegetación 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fluctuaciones en la densidad de pequeños mamíferos debido a la discontinuidad de los hábitats boscosos adyacentes 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Alteración de la dinámica trófica, cambios en los ecosistemas
Aplicación de herbicidas para controlar la vegetación a lo largo de las carreteras	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Transporte de químicos a los cuerpos de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cambios en las características de los humedales 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pérdida del nicho de hábitat para las especies dependientes y disminución poblacional
Aplicación de sal para el deshielo	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Transporte de sal a los cuerpos de agua ▶ Daño a las plantas (“hojas quemadas”) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Incremento de sodio y cloruro a los cuerpos de agua, alteración de la circulación del agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reducción de los niveles de oxígeno lo que afecta la supervivencia de algunas especies acuáticas
Polvo ocasionado durante la construcción y operación	<ul style="list-style-type: none"> ▶ El polvo depositado sobre la vegetación interfiere con la fotosíntesis 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reducción de la productividad primaria 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Disminución de las fuentes de comida, y de las especies
Tráfico	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Perturbación a las especies de la vida silvestre que habitan en los bordes de la vía 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cambios en los patrones de actividad lo que conduce a un mayor uso de los hábitats durante la noche ▶ Abandono del hábitat, migración hacia otros hábitats 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Competencia por los recursos con los animales nocturnos, reducción de ciertas especies ▶ Uso excesivo de otros hábitats, disminución eventual de algunas especies
Aumento en el volumen del tráfico	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aumento de la muerte de fauna por atropellamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Disminución de las poblaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cambio de las dinámicas tróficas y la composición de las especies

Fuente: Adaptado de Rajvanshi et al. 2001.

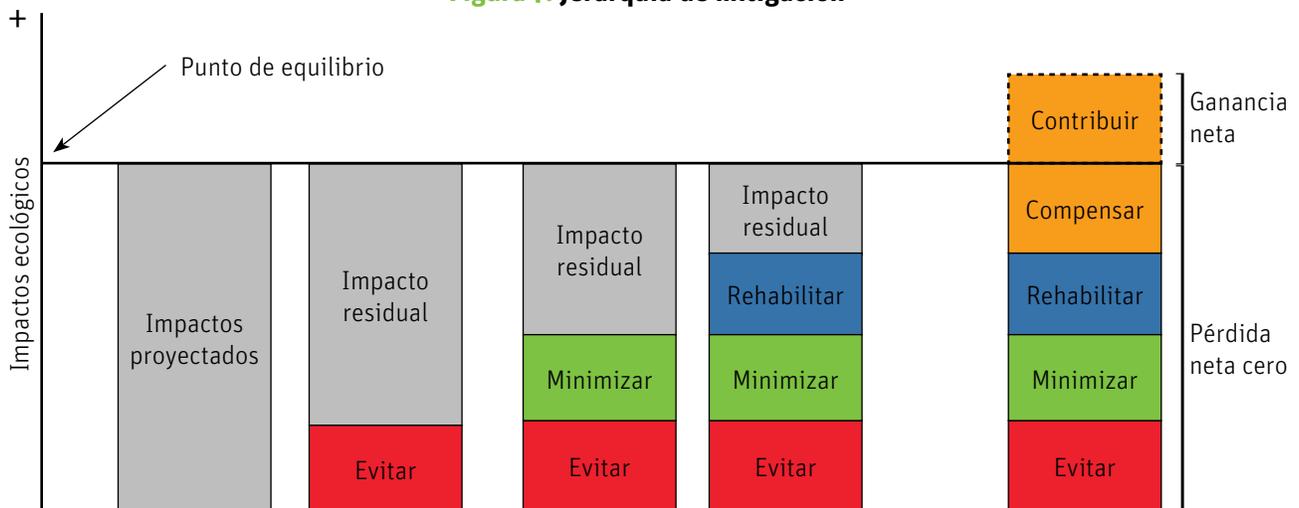
Capítulo 4

Aplicación de buenas prácticas ambientales

En todas las etapas del ciclo del proyecto vial – desde la planificación hasta la operación – se requiere una evaluación de los impactos de las decisiones tomadas sobre el medio ambiente y las comunidades. Los impactos son causados por cambios biológicos y físicos asociados con el proyecto. Por lo tanto, es importante entender la naturaleza y el alcance de estos cambios para poder predecir estos impactos adecuadamente. Cuando se abordan los asuntos apropiadamente, se mejora el manejo de los proyectos y la toma de decisiones ambientales.

Se requiere un enfoque sistemático para integrar plenamente las consideraciones ambientales en el desarrollo vial. Idealmente, los proyectos primero deben evitar, a continuación, minimizar, luego, restaurar, y finalmente – cuando se hayan agotado las opciones anteriores – compensar (offset) por los impactos para lograr una pérdida neta cero de la biodiversidad (BBOP 2009; PricewaterhouseCoopers 2010). Esto se conoce como la Jerarquía de mitigación, como se muestra en la Figura 7 (Quintero et al. 2010). La aplicación de la Jerarquía de mitigación puede ayudar a garantizar el manejo ambiental apropiado.

Figura 7. Jerarquía de mitigación



Fuente: Adaptado de BBOP 2009; PricewaterhouseCoopers 2010.

Evitar: Para evitar el impacto en áreas sensibles, lo mejor es excluirlas de la consideración para determinar la ubicación del proyecto. Esta debe ser la opción preferida que debe tomarse para evitar la creación de impactos desde un principio y un concepto útil para determinar el uso del suelo y para los planificadores de la infraestructura.²

Minimizar: Reducir el impacto potencial a través de actividades que protejan la biodiversidad y la función eco-sistémica. Incluye, en la medida en que sea factible, las medidas que deben tomarse para reducir la duración, la intensidad, o la extensión de los impactos que no pueden evitarse completamente.

² La opción de no construir se puede ser parte de "Evitar"

Rehabilitar: Acciones para dejar las zonas afectadas (donde los impactos no se pudieron evitar o minimizar completamente) en condiciones similares o mejores a las que fueron verificadas con anterioridad a la ejecución de las actividades del proyecto.

Compensar/Offset: Medidas adoptadas para compensar, a través de diferentes medios, los impactos adversos significativos residuales que no pueden evitarse, minimizarse, y/o rehabilitarse o restaurarse, con el fin de lograr una pérdida neta o ganancia neta cero de biodiversidad.

La jerarquía de mitigación está alineada con las etapas del ciclo de vida del proyecto, desde la planificación hasta la construcción y operación. Más allá de los impactos reducidos o positivos para el medio ambiente, la jerarquía proporciona un enfoque para el desarrollo integrado, con resultados esperados en la reducción de los costos de transacción para el desarrollo de la infraestructura. En cada etapa, es vital que las agencias ambientales y los expertos trabajen en coordinación con los planificadores y diseñadores de las carreteras. Se deben desarrollar soluciones que sean aceptables desde una perspectiva ambiental, de seguridad y de diseños de ingeniería.

Se deben implementar las buenas prácticas en cada etapa para mitigar los impactos ambientales. Estas prácticas se presentan en la Tabla 8 junto con la Jerarquía de mitigación.

Tabla 8. Incorporación de las consideraciones ambientales en el ciclo del proyecto vial

Ciclo del proyecto	Planificación temprana	Pre-Diseño	Diseño	Construcción	Operación y mantenimiento
Evitar	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Identificación temprana de asuntos ambientales: evaluaciones ambientales estratégicas, multisectoriales, y regionales; evaluación de impactos acumulativos ▶ Planificación del uso del suelo incorporando consideraciones ambientales ▶ Análisis de programas y proyectos alternativos 	<p>Categorización:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Identificación de la naturaleza y la magnitud de los impactos ▶ Identificación de hábitats naturales y componentes sociales ▶ Selección cuidadosa de la ubicación del proyecto vial 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Diseño del Proyecto equilibrando las tecnologías y las técnicas de ingeniería con los asuntos ambientales ▶ Proteger las áreas en el área del proyecto que tengan valores importantes de biodiversidad 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Buenas prácticas de construcción ▶ Programación de las actividades de construcción teniendo en cuenta los patrones de comportamiento de las especies (por ejemplo, reproducción, migración) o las funciones eco-sistémicas 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mantenimiento regular y oportuno
Minimizar	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Participación de la comunidad ▶ Medidas de adaptación al cambio climático ▶ Colaboración interinstitucional 	<p>Categorización, definición del alcance:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Análisis de alternativas ▶ Identificación del alcance del estudio de EIA ▶ Participación de la comunidad 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Recolección de datos de línea base ▶ Inventarios de especies específicas ▶ Identificación de todos los impactos ▶ Participación de la comunidad ▶ Diseño del proyecto incorporando los asuntos ambientales ▶ Estructuras para la fauna 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Buenas practicas constructivas ▶ Uso de las últimas tecnologías innovadoras de construcción ▶ Costos de las medidas de mitigación como parte de los documentos de licitación ▶ Monitoreo 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Monitoreo regular ▶ Prácticas de mantenimiento rutinario ▶ Participación de la comunidad

Ciclo del proyecto					
Jerarquía de mitigación	Planificación temprana	Pre-Diseño	Diseño	Construcción	Operación y mantenimiento
Rehabilitar			<ul style="list-style-type: none"> ▶ Desarrollo de medidas específicas como estructuras de Participación de la comunidad 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Buenas prácticas constructivas ▶ Costos de las medidas de mitigación como parte de los documentos de licitación ▶ Monitoreo 	
			<ul style="list-style-type: none"> ▶ Planes de compensación para crear nuevas áreas protegidas o para dar apoyo a las áreas protegidas existentes ▶ Restauración de los valores de la biodiversidad, creación o mejoramiento de nuevos hábitats 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Planes de compensación para crear nuevas áreas protegidas o para dar apoyo a las áreas protegidas existentes ▶ Restauración de los valores de la biodiversidad creación o mejoramiento de nuevos hábitats 	
Compensar					

Planificación temprana

La planificación es la primera fase del proceso de toma de decisiones sobre el sector transporte. En esta etapa, se lleva a cabo la planificación para satisfacer las necesidades de transporte. Es vital comenzar a pensar en las consecuencias ambientales de toda política, proyecto o programa encaminados a resolver las deficiencias del transporte. En la medida de lo posible, el proceso de planificación del transporte debe utilizar toda la información disponible sobre los recursos ecológicos para anticipar las posibles consecuencias de los planes de transporte en el medio ambiente y en la sociedad. Es importante tener en cuenta la densidad y la configuración de la red vial a través de paisajes en cuanto a la escala y la intensidad del impacto de la carretera sobre la vida silvestre (van der Ree, Smith, y Grilo 2015). En esta etapa, se deben considerar las amplias implicaciones en el medio ambiente de los parámetros de diseño, tales como el tipo de superficie de la carretera, el radio de curvatura, los tipos de curvas, los cortes y rellenos, las velocidades de diseño, las distancias de frenado, etc.

Nota: La planificación territorial a nivel del paisaje, (utilizando tecnología, datos y herramientas disponibles), puede eliminar sitios (evitar) para el desarrollo potencial con base en la sensibilidad de la biodiversidad o de los ecosistemas (Hayes et al. 2015).

Como aún no se definen proyectos específicos, los esfuerzos de planificación deben estar acompañados por estudios estratégicos tales como evaluaciones ambientales sectoriales (EAS) o regionales (EAR) y evaluaciones de impactos acumulativas (EIC) a fin de descartar ciertas soluciones que puedan cumplir con los objetivos de desarrollo, pero que lo hacen a costa de la degradación ambiental a niveles inaceptable o muy altos (WSDOT 2010). Si esas evaluaciones no se han llevado a cabo, entonces dependiendo de las obras viales bajo consideración (como el desarrollo de autopistas o la planificación de la red vial en una región), podría ser necesario llevar a cabo estos estudios. Un análisis de costo-beneficio ambiental podría ayudar en el proceso de toma de decisiones. Con base en toda la información disponible, se debe seleccionar el corredor que más minimice los impactos ambientales y sociales pero que garantice beneficios económicos. Las prioridades identificadas a nivel nacional apoyan los planes regionales y subregionales. Actualmente en América Latina, estas herramientas no se utilizan ampliamente en la toma de decisiones y se utilizan sobre todo cuando los organismos multilaterales están involucrados. La mayoría de los sistemas de evaluación ambiental en América Latina no requieren EAE, EAR, EAS, o EIC (excepto en Chile, República Dominicana, Panamá, Guatemala, Colombia y Perú, que sí tienen leyes sobre las evaluaciones ambientales estratégicas (EAE).

Estudios estratégicos para la identificación temprana de los impactos

Los estudios estratégicos, como las evaluaciones ambientales sectoriales y las evaluaciones ambientales regionales, proporcionan el contexto para lograr menores niveles de planificación y de toma de decisiones (DEAT 2004). Estas evaluaciones reducen la probabilidad de llevar a cabo estudios de factibilidad de proyectos que podrían no ser ambientalmente sostenibles, garantizando que los proyectos propuestos se establezcan dentro de un marco de políticas que ya han sido objeto de escrutinio ambiental (Quintero et al. 2010). Esto también ahorra recursos utilizados en la preparación de proyectos. Las evaluaciones ambientales proporcionan información vital que pueden apoyar el proceso general de planificación (DEAT 2004). La responsabilidad por las EAE varía según el país. A veces se lleva a cabo por la agencia de planificación; otras veces, por los organismos sectoriales. Una EAE deben incluir:

- ▶ Una descripción de la situación ambiental actual in el sector o la región
- ▶ Un análisis ambiental, teniendo en cuenta los efectos acumulativos y la fragmentación
- ▶ Un análisis de los costos y beneficios ambientales de las estrategias y opciones de inversión alternativas
- ▶ Estrategias de mitigación para eliminar o reducir los efectos a niveles aceptables
- ▶ Un plan para mejorar el manejo ambiental en el sector
- ▶ Un plan de monitoreo ambiental

La variante Mocoa-Puerto Asís en Colombia es un buen ejemplo de la aplicación de la EAE. El uso de la planificación estratégica y un enfoque regional para la conservación de la biodiversidad en este proyecto, se considera un paso importante para un mayor desarrollo de la infraestructura vial amigable con la biodiversidad en Colombia. Se introdujeron en el diseño del proyecto algunos esfuerzos de planificación regional que incluían áreas protegidas y corredores de biodiversidad con base en la EAE. Esta carretera de 46,5 kilómetros, ubicada en la región sur del Putumayo, atraviesa hábitats naturales sensibles en un área geológicamente inestable. El proyecto propone ampliar una reserva forestal, crear un corredor de biodiversidad basado en el paisaje y la planificación territorial, y apoyar los programas de conservación de la biodiversidad

Evaluación de impactos acumulativos

La evaluación de impactos acumulativos puede ser parte de la evaluación estratégica o pueden ser estudios independientes. Dicha evaluación debe proporcionar la siguiente información durante el proceso de planificación (IFC 2013):

- ▶ Todos los componentes valorados del ecosistema (CVE) (incluidos los aspectos ambientales y sociales) que pueden verse afectados por el desarrollo vial bajo estudio, así como una evaluación de los CVE seleccionados.
- ▶ Todos los desarrollos existentes, razonablemente anticipados y/o planeados o potencialmente aducidos, así como también todos los factores ambientales y sociales externos que pudieran afectar los CVE seleccionados.
- ▶ Evaluación y/o estimación de las condiciones futuras de los CVE seleccionados
- ▶ Evitar y minimizar, de acuerdo con la jerarquía de mitigación, los impactos del desarrollo sobre los CVE.
- ▶ Monitoreo y manejo de los riesgos para la viabilidad o sostenibilidad de los CVE durante la vida del proyecto o de sus efectos, cualquiera que dure más tiempo.
- ▶ Datos de monitoreo del proyecto.

Los límites para el análisis deben abarcar la extensión geográfica y temporal de los impactos (de otros desarrollos pasados, presentes y posiblemente futuros) que influyen en las condiciones de CVE durante todo el período de tiempo durante el cual se producen los impactos del proyecto. Este ámbito es probable que se extienda más allá del área de influencia directa del proyecto (IFC 2013).

Papel de los planes de uso del suelo y de los recursos naturales

Los datos de los planes de ordenamiento territorial y de los recursos naturales que se enfocan en las prioridades ambientales, como la protección de las cuencas hidrográficas, corredores biológicos y las áreas sensibles, pueden facilitar la toma de decisiones (ver el Cuadro 5). Se deben identificar las áreas de no intervención, donde el desarrollo de la red de carreteras sería significativamente perjudicial para el medio ambiente. La literatura reciente se refiere al análisis de restricción ambiental como una herramienta para la determinación de estas áreas. No todos los impactos se pueden mitigar, y no todas las medidas de mitigación son igualmente eficaces (van der Ree, Smith y Grilo 2015). Mediante el uso de modelos de conectividad de hábitats a nivel del paisaje y de modelos que representan las prioridades ambientales, se logra una estrategia vial más integral, teniendo en cuenta las diferentes prácticas de manejo de la tierra y de los problemas de conservación de hábitats. Por ejemplo, si se identifica que un camino pasa a través de una ruta migratoria, entonces se deben considerar rutas alternativas durante el proceso de planificación del transporte, no sólo para lograr la protección de la ruta migratoria y la vida silvestre, sino también para evitar la controversia en la fase del proyecto individual (NRC 2010).

Nota: La planificación del uso del suelo juega un papel muy importante en el manejo de los riesgos de los proyectos de infraestructura porque garantiza una implementación temprana del principio de “evitar” and proporciona un marco para la mitigación y la compensación.

Cuadro 5. Integración de la conservación en la planificación

Para integrar la conservación dentro del desarrollo, Malasia ha adoptado una estrategia nacional de planificación territorial conforme a lo estipulado en el Plan Físico Nacional (*National Physical Plan, NPP*) de 2005. Este Plan establece un marco de ordenamiento territorial para el desarrollo sostenible y delinea las áreas importantes para la conservación de la biodiversidad. El Central Forest Spine (CFS) es un importante paisaje de conservación en este Plan. El CFS consiste de tres complejos forestales que albergan las poblaciones de tigres y ha sido identificado como una prioridad para la conservación. La incorporación del CFS dentro del NPP permitirá la conservación del tigre, y contribuirá a la protección de áreas importantes ricas en biodiversidad que están interconectadas por un sistema de bloques grandes de bosque donde se practica un uso ecológicamente racional de la tierra. El NPP establece directrices para el uso del suelo y el desarrollo. Por lo tanto, las áreas de conservación del tigre y la biodiversidad están claramente definidas e integradas en los planes nacionales, estatales y locales. Cualquier enajenación de tierras para proyectos de desarrollo tiene que ser referido al Departamento de planificación nacional y territorial (*Department of Town and Country Planning*), que a su vez consulta al NPP.

Fuente: Samsudin 2010.

A nivel de proyectos individuales, los efectos ambientales potenciales se pueden evaluar mediante la categorización de las áreas sensibles, tales como humedales, áreas con especies de interés, etc. Mediante el uso del sistema de información geográfica (SIG) y otras técnicas cartográficas, se pueden identificar los impactos potenciales y seleccionar el trazado apropiado para evitar crear impactos desde un principio.

Colaboración interinstitucional

La planificación vial debe incluir aportaciones de otras agencias relevantes, tales como aquellas responsables de la planificación de los recursos naturales, la planificación de cuencas hidrográficas, o la planificación del uso del suelo, para garantizar que los proyectos o planes propuestos no afectarán negativamente al medio ambiente pero complementarán el uso del suelo de la zona. Todas las agencias necesitan trabajar juntas (ver el Cuadro 6). La vinculación de los planes puede ayudar a: (i) identificar los recursos naturales que deben recibir especial consideración de las estrategias de “evitar” y “minimizar”; (ii) identificar maneras para que los proyectos de transporte contribuyan a mejorar el medio ambiente como parte de la futura planificación y ejecución de proyectos; (iii) proporcionar orientación para la ubicación y el diseño de los sitios de mitigación compensatoria para que estos sitios pueden ayudar a maximizar los beneficios mediante el apoyo a los objetivos de conservación más grandes (NRC 2005).

Cuadro 6. Desde la planificación hasta la construcción de una vía

Los planes nacionales de desarrollo establecen la prioridad de la infraestructura vial. Por ejemplo, las vías pueden priorizarse para la conexión de las zonas industriales con los puertos, como en Colombia, o porque la integración nacional y la integración regional pueden ser una prioridad. La prioridad nacional le da las pautas a la planificación del corredor vial que será llevada a cabo por la agencia de planificación o el ministerio sectorial. Las consideraciones ambientales deben incorporarse en esta etapa de planificación, posiblemente a través de la EAE o la EAR. Después de esta planificación temprana, la agencia vial selecciona el trazado de la carretera mediante un análisis de alternativas y procede con el diseño de la carretera. En paralelo se llevan a cabo las planificaciones del uso del suelo y del uso de los recursos naturales a nivel nacional y provincial. La agencia vial debe consultar y colaborar con las diferentes agencias para asegurar que el trazado de la ruta seleccionada es compatible con los planes de uso del suelo y que el desarrollo no dar lugar a efectos ambientales adversos. Una vez que el diseño esté finalizado, la carretera pasa a la etapa de construcción. Puede ser construida por los organismos gubernamentales o contratada con el sector privado.

Cambio climático

El cambio climático añade una nueva complejidad a la planificación e implementación de la infraestructura vial. La frecuencia de los desastres naturales y sus costos han aumentado de forma espectacular en todo el mundo. Por ejemplo, la región de América Latina y el Caribe tienen el promedio más alto del mundo de daños económicos causados por desastres (0,18% del producto interno bruto por evento) (Watkins 2014). Los fenómenos meteorológicos como tormentas, precipitaciones y temperaturas extremas representan un riesgo costoso para las carreteras en términos de la degradación, el mantenimiento necesario y la posible disminución de la vida útil debido a los impactos climáticos (Schweikert et al., 2014).

Como la infraestructura de transporte tiene una vida económica larga, los costos y beneficios relacionados con el cambio climático, incluso las emisiones de los vehículos y el riesgo de daños causados por desastres tales como inundaciones y deslizamientos de tierra, tienen que ser una parte del cálculo en la evaluación de las opciones de inversión en infraestructura (Fardoust, Kim, y Sepúlveda 2010). Algunos fenómenos meteorológicos podrían ser exacerbados bajo el cambio climático futuro, lo que aumentaría los riesgos y afectaría negativamente el desempeño de carreteras como la seguridad, la confiabilidad y la eficiencia de los costos. Para manejar las emisiones de gases de efecto invernadero, los planificadores del transporte pueden considerar la reducción del uso de combustibles fósiles y el aumento de la eficiencia vehicular, entre otras opciones. Hay disponibles varios modelos de predicción del cambio climático con los cuales se pueden analizar los diferentes escenarios en la planificación de carreteras y determinar no solo el impacto potencial que las carreteras pueden tener en las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también el efecto que los cambios en el patrón climático pueden tener en las carreteras. Incluir las consecuencias del cambio climático en la planificación del transporte es fundamental para la protección de las futuras inversiones en infraestructura. El cambio climático es un tema complejo y cada vez más importante por lo que debe tenerse en cuenta en la planificación y el desarrollo. Las cuestiones que abordan el cambio climático durante el desarrollo vial están más allá del alcance de esta Guía. Sin embargo, como ejemplo, en la Tabla 9 – en la sección sobre la etapa de diseño – se presentan las posibles medidas para el manejo del cambio climático que deben tenerse en cuenta en el diseño de una carretera.

Modelos para predicción de impactos

El desarrollo de la infraestructura de transporte es una de las causas de los cambios en el uso del suelo y de la cobertura vegetal, lo que contribuye a la deforestación y la pérdida de biodiversidad. Como se discutió en el Capítulo 3, el desarrollo vial puede conducir a impactos indirectos, inducidos y acumulativos. Cuando se está planificando la infraestructura vial, un análisis de estos impactos potenciales y sus interacciones puede ayudar en la comprensión de los cambios en el uso del suelo y, en particular la deforestación de los bosques naturales y los impactos resultantes sobre la biodiversidad. Varios modelos que utilizan diversas técnicas están disponibles para analizar los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal y capturar las interacciones entre los sistemas naturales y antropogénicos en el espacio y el tiempo (Seifert-Granzin 2013).

Dependiendo de la necesidad, se debe seleccionar el modo más apropiado para el análisis y los escenarios en los respectivos países, áreas o límites del proyecto. Los datos detectados remotamente con resolución espacial gruesa por el Radiómetro

avanzado de muy alta resolución, (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) o por el Espectro- radiómetro de imágenes de resolución moderada (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer MODIS*), son de uso común en grandes áreas, tales como zonas de clima continental, o a escala global o nacional. Como la mayor parte de la deforestación se produce a escalas sub-píxel, los datos pueden resultar inadecuados para estimar la deforestación de manera directa y precisa. En tales casos los datos de alta resolución espacial, tales como datos de Landsat, permiten una cuantificación más precisa de las zonas de deforestación (Zhu et al. 2014). La cobertura infrecuente, la nubosidad frecuente y los costos de los datos pueden obstaculizar los datos cartográficos del Landsat para la monitorear la deforestación ocurrida por mucho tiempo en grandes regiones. Por lo tanto, los investigadores a menudo adoptan metodologías basadas en muestras para estimar la deforestación con imágenes de mayor resolución espacial.

Entre los modelos y herramientas más ampliamente utilizados y establecidos se encuentran *Databasin*, *Terra-i*, *the Integrated Biodiversity Assessment Tool for Business (IBAT)*, *Forest Watch* y *Imazon* (ver el Capítulo 6 para una mayor descripción). Las herramientas pueden ser útiles al planear el desarrollo de carreteras. Al introducir los datos de los proyectos propuestos dentro de estos modelos, se puede visualizar el área de influencia con el respeto al medio ambiente natural y visualizar los impactos potenciales con base en diferentes escenarios. Esto puede ser beneficioso en la selección del sitio y la identificación de zonas de no intervención.

Etapa de pre-diseño

El análisis ambiental llevado a cabo en esta etapa tiene como finalidad ayudar en la selección del trazado de la vía y en la preparación de su diseño preliminar. Durante esta etapa, debe llevarse a cabo una categorización (*screening*) para determinar si es necesaria una EIA completa. Si es así, entonces definir el alcance del proyecto (*scoping*) es el paso siguiente, lo que llevaría al estudio de línea de base.

Categorización de los impactos

La categorización se lleva a cabo para establecer la necesidad del proyecto, identificar los temas ambientales, definir el proyecto y decidir si es necesaria una EIA. Las comunidades locales son las que mejor conocen la zona y, por tanto son un gran recurso para obtener información de campo. Ellas deben participar en la selección del trazado de la vía, proporcionando ideas para el análisis de alternativas para garantizar que los intereses locales se integran en el diseño de la carretera. Por ejemplo, en el Programa de caminos rurales del primer ministro de la India, los representantes de las comunidades locales caminan todo el tramo de la carretera propuesta para que sus preocupaciones sean tenidas en cuenta. Cuando la comunidad se siente que un lugar culturalmente sagrado, un sitio de herencia patrimonial, o un importante cuerpo de agua de temporada pueden verse afectados por el camino, entonces se busca una ruta alternativa

Entre la información que debe recolectarse y analizarse durante el proceso de categorización se incluye (Rajvanshi et al. 2001; Tsunokawa and Hoban 1997):

- ▶ La escala y ubicación del proyecto, incluso los mapas que muestren la ubicación del proyecto con respecto a los hábitats naturales y las áreas sensibles. Las herramientas como IBAT o Databasin son muy útiles para identificar áreas sensibles.
- ▶ Una descripción de los principales componentes del proyecto.
- ▶ Una lista de los componentes de los hábitats naturales potencialmente afectados, que incluya: (i) los tipos de hábitats naturales; (ii) la vegetación, sus tipos y distribución; (iii) las especies clave de interés para la conservación de acuerdo con la Unión internacional para la conservación de la naturaleza (International Union for Conservation of Nature), la Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora); (iv) las listas de las autoridades locales; (v) las listas de especies endémicas; (vii) información preliminar sobre la distribución y la abundancia de especies clave y sus hábitats, rutas migratorias, reproducción y zonas de desove (si es aplicable); y, (viii) amenazas locales a los hábitats naturales.³ La Tabla 12, al final del Capítulo 4 ofrece una lista de componentes a considerar en las zonas sensibles.

³ La lista roja de las especies amenazadas de la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza (*International Union for Conservation of Nature*) clasifica el estado de conservación de especies de fauna y flora en todo el mundo. La Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*) enumera las especies que requieren protección contra la sobreexplotación

- ▶ La naturaleza y magnitud de los impactos potenciales incluidos:
 - La destrucción o degradación irreversible de los hábitats naturales.
 - La cantidad absoluta de los hábitats afectados.
 - La posibilidad de impactos acumulativos.
 - La posibilidad de impactos indirectos (inducidos) e impactos directos
 - Los impactos sobre los servicios eco-sistémicos (ver el Cuadro 7).

Cuadro 7. Los servicios eco-sistémicos y las carreteras

La incorporación de servicios eco-sistémicos dentro del ciclo del proyecto vial puede mejorar la sostenibilidad vial y beneficiar a sus usuarios, y, al mismo tiempo, evitar consecuencias negativas indeseadas sobre las comunidades circundantes. Los servicios eco-sistémicos son los beneficios que la gente obtiene de la naturaleza y que apoyan y satisfacen la vida humana, tales como el suministro de alimentos, el aire limpio, y la purificación del agua. Cuando se tienen en cuenta estos servicios eco-sistémicos durante la planificación, el diseño y la construcción y se monitorean los impactos, se pueden lograr carreteras que son económicamente, socialmente y ecológicamente apropiadas. Por ejemplo, la protección de los humedales adyacentes o aguas arriba de una carretera puede impedir la inundación de la carretera. Por otro lado, si los humedales se degradan o se pavimenta por encima de ellos, esto podría poner en peligro el servicio de regulación de inundaciones que éstos prestan, lo que pondría en grave peligro a la carretera, a sus usuarios y a las comunidades circundantes y ocasionaría reparaciones más frecuentes y costosas cuando ocurren daños por inundación.

Los servicios eco-sistémicos relevantes incluyen: protección contra las inundaciones, protección contra las tormentas costeras, control de la erosión, prevención de deslizamientos de tierra, regulación de la calidad del agua y el aire, y captura y almacenamiento de carbono para la regulación del clima.

Fuente: Mandle, Griffin y Goldstein 2014.

Definición del alcance

La definición del alcance es un proceso utilizado para definir lo que se puede y no se puede lograr durante un estudio ambiental particular y para determinar el nivel de detalle necesario en la evaluación ambiental dentro de las limitaciones presupuestarias y de tiempo existentes. En esta etapa se identifican los asuntos ambientales claves y los impactos potenciales que requieren de un mayor estudio, y se preparan los términos de referencia para la EIA.

Son importantes las consultas participativas con los interesados, incluso con los organismos reguladores pertinentes, para informarles sobre el proyecto y para escuchar sus comentarios y preocupaciones, y tenerlos en cuenta durante el proceso de diseño. La definición del alcance debe incluir lo siguiente (Rajvanshi et al. 2001; Tsunokawa and Hoban 1997):

- ▶ Los límites geográficos del estudio con relación a los posibles impactos o áreas de influencia, incluidos mapas e imágenes.
- ▶ Un plan para a participación pública.
- ▶ Las posibles alternativas, teniendo en cuenta todos los componentes ambientales, incluso las áreas sensibles y los servicios eco-sistémicos (ver el Cuadro 8).
- ▶ Requisitos para la recolección de datos de línea base y otra información tal como la de los componentes valorados del ecosistema (CVE).
- ▶ Las habilidades y los recursos humanos necesarios para llevar a cabo la evaluación ambiental.
- ▶ Las limitaciones y los horizontes de tiempo del estudio (es decir, los plazos de tiempo del proyecto y que tan lejos en el futuro para predecir los efectos del proyecto).
- ▶ Fuentes de información existentes, lagunas y limitaciones en la metodología.

Cuadro 8. Impactos sobre los hábitats naturales: Aspectos claves en la selección del trazado

Para la autopista Yiba Hubei en China, se evaluaron tres corredores para seleccionar el trazado social y ambientalmente más benigno. El corredor seleccionado tiene el impacto global más bajo sobre los recursos ambientales y culturales. El análisis de alternativas incluyó la optimización del trazado cuando fuera posible para reducir al mínimo los residuos. Se protegió la calidad del agua del reservorio de agua potable, Guanzhang al mover el trazado de la vía lejos de la cuenca del río Guanzhang. Se modificó el diseño para reducir los impactos visuales en las áreas escénicas Xiaofeng, Shennonglia y Gaolan. El trazado final de la vía minimiza los impactos sobre los recursos sensibles y sobre el parque geológico nacional Tres Gargantas.

Etapa de diseño

Durante esta etapa, debe haberse completado gran parte del trabajo de diseño, del análisis ambiental y de los requisitos de documentación para el proyecto vial, y haberse iniciado el proceso de obtención de licencias y permisos. La mayoría del análisis ambiental generalmente se realiza en conjunto con el diseño del proyecto, y es común que se requiera un rediseño para hacer frente a algún problema ambiental (WSDOT 2010). Debe desarrollarse un diseño sensible en el contexto de la carretera para evitar y minimizar los efectos ambientales adversos. Esto requiere el uso de tecnologías y soluciones de ingeniería creativas. Por ejemplo, el aumento de la pendiente en los lados de una carretera para minimizar el relleno de un humedal o la evaluación de la disponibilidad de materiales locales apropiados para la construcción pueden ayudar a reducir el uso de nuevos materiales excavados. Igualmente importante es el diseño de carreteras con la premisa de minimizar el volumen de materiales residuales y la contaminación y de identificar los usuarios para el exceso de material utilizable con el fin de evitar opciones de eliminación alternativas potencialmente costosas (IRF 2013). Además, debe tenerse en cuenta para el diseño de la carretera, la resistencia al clima para soportar condiciones cambiantes, tales como un aumento de la temperatura o las inundaciones (ver la Tabla 9).

Tabla 9. Opciones para el manejo de los riesgos del cambio climático sobre las carreteras

Opciones para el manejo de los riesgos del cambio climático	Cómo abordar los riesgos	Factibilidad de implementación
Aumento del nivel del mar y las inundaciones; daños a las instalaciones, tales como carreteras, puentes, pilares de los puentes, y culverts debido a los altos caudales y el transporte de sedimentos; posible erosión de vías por socavación		
Mover las carreteras más adentro	Mover las carreteras lejos de las zonas de inundación	Difícil de implementar
Instalar barreras para dirigir las inundaciones lejos de las carreteras	Protege las carreteras de las inundaciones	Moderadamente fácil de implementar
Elevar las carreteras utilizando más materiales o subiendo su nivel	Mover las carreteras, o los puentes por encima del nivel esperado del mar	De moderadamente fácil a difícil de implementar
Desarrollar rutas alternativas críticas de transporte	Proporciona resistencia a los eventos que ocurren con poca frecuencia (como mareas muy altas)	Moderadamente fácil de implementar
Mejorar los diques a lo largo de la vías principales	Reduce la inundación de las vías cercanas a los ríos	Varía de moderadamente fácil a difícil de implementar dependiendo del tamaño de los diques
Actualizar los sistemas de bombeo para manejar mayores niveles de escorrentía en las zonas s bajas y los pasos a desnivel	Reduce el impacto por inundaciones	Fácil de implementar
Instalar barreras para dirigir las inundaciones lejos de las carreteras	Previene inundaciones	De moderadamente fácil a difícil de implementar

Opciones para el manejo de los riesgos del cambio climático	Cómo abordar los riesgos	Factibilidad de implementación
Mejorar los sistemas de infiltración utilizando pavimentos porosos o estanques de bio-retención	Reduce las inundaciones	De moderadamente fácil a difícil de implementar; requiere capacidad (mantenimiento)
Instalar carreteras elevadas con zanjas de drenaje rellenas de roca a lo largo de los lados para aumentar la infiltración	Reduce las inundaciones de la vía	Fácil de implementar
Pilares de puentes y culverts de concreto armado	Reduce los impactos por inundaciones y las cargas altas de sedimentos	Fácil de implementar
Marejadas		
Utilizar diques marinos modulares y barreras contra las inundaciones a lo largo de la vía	Dirigen las inundaciones lejos de la vía	Moderadamente difícil de implementar
Instalar sistemas de bombeo en las áreas bajas y en los pasos a desnivel	Reduce las inundaciones	Fácil de implementar
Daños al pavimento por las temperaturas extremas que causan pandeos o ablandamientos del asfalto		
Aumento del mantenimiento a la superficie pavimentada	Reparar los sitios donde se derritió el asfalto	Fácil de implementar
Instalar pavimento de concreto para evitar problemas con el asfalto	Reduce los huecos en el pavimento	Fácil de implementar

Terminología de la Factibilidad de implementación:

Fácil = relativamente sencilla de implementar, proporciona beneficios a largo plazo, no tiene efectos secundarios adversos.

Moderadamente fácil = exigencias mínimas sobre la capacidad (personal, financiamiento y capacidad de mantenimiento); No se espera que esta opción resulte en impactos sociales o ambientales significativos.

Moderadamente difícil = Esfuerzos de escala intermedia necesarios para su implementación; esta opción podría requerir una nueva evaluación de los impactos ambientales y sociales, requisitos normativos adicionales, o capacidad y experiencia técnica.

Difícil = Se requiere un mayor esfuerzo para su implementación; esta opción podría resultar en impactos ambientales y sociales adversos o podría requerir gastos significativos, capacidad, experiencia técnica, voluntad política, o autoridad legal.

Fuente: Adaptado del BID 2015.

La etapa de diseño es una de las fases más importantes del ciclo del Proyecto, ya que durante esta etapa se deben completar la EIA y otros estudios ambientales. El informe ambiental debe redactarse después de analizar las cuestiones ambientales, comparar trazados alternativos, desarrollar medidas de gestión ambiental, consultar con las diferentes agencias con respecto a cualquier permiso requerido, y determinar la importancia de los impactos ambientales no mitigados. Las cuestiones clave que una buena evaluación de impacto ambiental debe cubrir se describen en esta sección.

Datos de línea base

Los datos de línea base se obtienen para determinar los valores de la biodiversidad que se producen en un sitio, su estado actual y sus tendencias antes de que comience un proyecto (Gullison et al. 2015). La información de línea base debe permitir una comprensión clara del comportamiento del medio ambiente, en especial de aquellos componentes considerados vulnerables a las acciones que se van a realizar durante la ejecución del proyecto vial. El proceso debe incluir a expertos y a las partes interesadas pertinentes. El estudio de línea base de la biodiversidad apoya la evaluación de los impactos y riesgos de un proyecto, la aplicación de la jerarquía de mitigación, y el diseño del programa de monitoreo de la biodiversidad a largo plazo (si se requiere) (Gullison et al. 2015).

Los informes de EIA deben proporcionar datos de línea base sobre la biodiversidad en el área del proyecto y su área de influencia con respecto a su importancia local, regional, nacional, e internacional; su uso por las comunidades locales; sus funciones (por ejemplo, en términos de rendimiento de recursos o de producción, tendencias de la población de especies clave); y la aplicación y el impacto de las políticas nacionales. Los datos primarios pueden obtenerse a través de métodos directos (por ejemplo, muestreo de transectos o métodos indirectos tales como información anecdótica de los cazadores o pescadores sobre especies capturadas (Duke y Aycrigg 2000). Para predecir el impacto del proyecto sobre los hábitats naturales, se debe generar la siguiente información relevante:

- ▶ El estado de la biodiversidad y los recursos naturales, y sus usos y amenazas, incluidos tanto el conocimiento científico como el indígena.
- ▶ Los valores y las funciones del ecosistema, incluso hasta dónde se acercan a los umbrales ambientales o los niveles críticos.

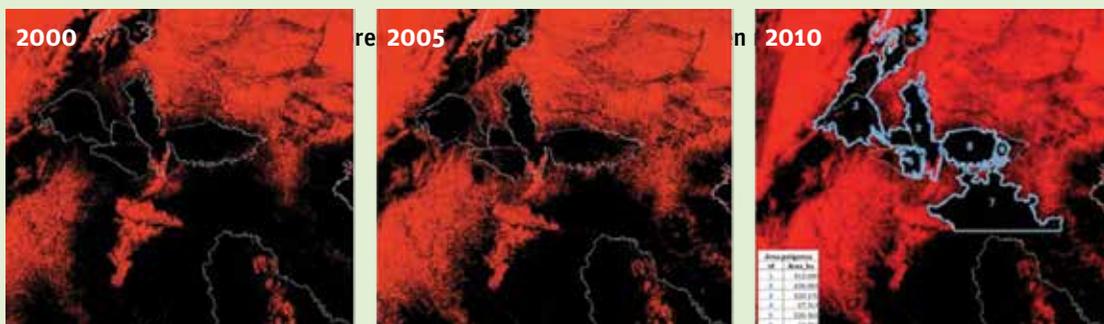
Los datos de línea base deben incluir:

- ▶ Un panorama general de las condiciones y tendencias existentes, incluidas las actividades de desarrollo propuestas y en curso y propuestas en el área de estudio (ver el cuadro 9).
- ▶ Los tipos de hábitats que podrían verse afectados, que abarquen tanto los hábitats terrestres y como los acuáticos (agua superficial, calidad del agua, planicies de inundación, aguas subterráneas).
- ▶ Datos sobre el medio ambiente natural y circundante como:
 - Calidad del aire
 - Características del suelo
 - Fauna y flora (especies amenazadas y en peligro de extinción, especies migratorias, especies locales importantes)
 - Uso del suelo (población, uso del suelo, áreas costeras, ríos vírgenes y escénicos, tierras agrícolas, tierras públicas, áreas forestales, patrimonio histórico y cultural, asuntos sociales y económicos, incluso reasentamiento y calidad estética y visual)
 - Servicios públicos
 - Áreas sensibles, como áreas forestales, áreas protegidas, corredores biológicos, áreas importantes para la avifauna, etc.
 - Servicios eco-sistémicos
- ▶ Asuntos planteados durante las consultas con las partes interesadas y con las comunidades potencialmente afectadas
- ▶ Información pertinente a estudios de biodiversidad adicionales, si se llevaron a cabo

Los estudios de línea base pueden reevaluarse después de que el proyecto ha comenzado debido a requisitos adicionales colocados a un proyecto existente o a una modificación o ampliación del proyecto que requiere de un análisis ambiental (Gullison et al. 2015).

Cuadro 9. Identificación temprana de los impactos acumulativos

La carretera Puerto Rico-San José del Guaviare (La Macarena) en Colombia está prevista pasar por una zona ecológicamente única que es el punto de encuentro para la flora y la fauna de las regiones del Amazonas, el Orinoco y los Andes. La región tiene un alto nivel de biodiversidad, con numerosas especies endémicas y raras. La carretera podría interferir y perturbar la conectividad ecológica entre los parques nacionales La Macarena y Chiribiquete, interrumpiendo así las conexiones entre los ecosistemas de los Andes y el Amazonas. Se han desarrollado mapas que analizan el estado actual de la zona de influencia y sus sensibilidades. Se han realizado estudios extensos, con el apoyo de los mapas visuales, para entender las presiones que enfrentará esta zona ecológicamente sensible. Por ejemplo, se analizaron las tasas de deforestación durante un período de 10 años para extrapolar la posible influencia de la carretera sobre la cobertura forestal restante. Algunos de los mapas generados incluyen las tasas de deforestación durante 10 años, el potencial de hidrocarburos y minas, y presiones debido al cultivo de sustancias ilegales. Con base en el análisis ambiental, se están desarrollando soluciones para mantener la conectividad y la libre circulación de los animales.



Evaluación de los impactos

Se debe evaluar la naturaleza y el significado de todos los posibles impactos. Se deben considerar los valores intrínsecos, útiles, funcionales, y estructurales de la biodiversidad y los hábitats naturales. También se debe tener en cuenta la importancia potencial de los impactos en la composición, la estructura y la función de la biodiversidad y las áreas sensibles a los niveles del paisaje, los hábitats/ecosistemas, las especies, sus poblaciones y sus genes (si es aplicable) (Duke y Aycrigg 2000). La evaluación de los impactos debe incluir, entre otros factores, los siguientes:

- ▶ Los impactos sobre la biodiversidad, los servicios eco-sistémicos, las comunidades locales y los hábitats naturales, como las áreas sensibles y otras áreas importantes como los corredores biológicos etc.
- ▶ La evaluación de los posibles impactos para cada etapa del proyecto: pre-construcción, construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento.
- ▶ Descripción de la naturaleza y magnitud de los impactos evaluados. Esto incluye el grado de severidad, es decir, alta, moderada, baja o irreversible.
- ▶ Un análisis más riguroso de los impactos altos o irreversibles.
- ▶ Identificación y análisis de los impactos directos e indirectos (incluso los inducidos) utilizando metodologías sistemáticas (como matrices, listas de verificación, opinión de expertos, consultas frecuentes).
- ▶ Análisis de los impactos acumulativos.
- ▶ Análisis de la interacción de los impactos.
- ▶ Análisis de los impactos como una desviación de las condiciones de línea base (la diferencia entre las condiciones esperadas si no se fuera a realizar el proyecto y aquellas esperadas como consecuencia de éste).
- ▶ Duración de los impactos (a corto o largo plazo)
- ▶ Evaluación económica de los costos y beneficios ambientales, incluso los valores de funcionalidad y utilidad de las especies, los hábitats, y los ecosistemas afectados – teniendo en cuenta su importancia económica – en un contexto nacional, regional o local.
- ▶ Evaluación de la probabilidad de accidentes durante la construcción y operación que pudieran afectar los hábitats naturales o la biodiversidad y que pudieran requerir medidas de precaución especiales.

Medidas de manejo

Se deben proponer medidas de manejo con base en los datos de línea base y los impactos identificados. La evaluación ambiental debe recomendar opciones para eliminar, reducir a niveles aceptables, o mitigar los impactos ambientales. Esto debe incluir información respecto a:

- ▶ Medidas de control tanto para los impactos adversos como para mejorar los beneficios del proyecto.
- ▶ Medidas para todos los impactos significativos. Cuando sea posible, se deben definir estas medidas en términos prácticos (por ejemplo, costos, necesidades, cronogramas).
- ▶ Asuntos concernientes a la integridad de los hábitats naturales y los ecosistemas, y el mantenimiento de sus funciones.
- ▶ Medidas para hacer frente a los problemas que afectan a los ecosistemas por fuera de los límites del proyecto.
- ▶ Medidas para evitar o minimizar los impactos antes de recomendar actividades de mitigación.
- ▶ Impactos residuales o no mitigados y una justificación de por qué no se pudieron mitigar.
- ▶ Si todas las partes interesadas y las instituciones aceptan la compensación, confirmación de que ellos están dispuestos y comprometidos a implementarla.
- ▶ Eficacia de las medidas de mitigación.
- ▶ Un cronograma de ejecución, junto con un estimativo de costos, un plan financiero, y las responsabilidades institucionales para implementar las medidas de mitigación.

En el Cuadro 10 se presentan ejemplos de las medidas típicas que incorporan la jerarquía de mitigación.

Cuadro 10. Medidas típicas de mitigación

- ▶ Protección completa del sitio mediante la relocalización o el rediseño del sitio (evitar)
- ▶ Retención estratégica del hábitat (minimizar)
- ▶ Conversión o modificación restringida (minimizar)
- ▶ Medidas para minimizar el daño ecológico (minimizar)
- ▶ Trabajos de restauración post-desarrollo (compensar)
- ▶ Medidas por fuera del sitio como cría en cautividad, almacenamiento de semillas (compensar)
- ▶ Translocación y/o reintroducción de especies (compensar)
- ▶ Restauración de hábitats degradados (mejorar)
- ▶ Establecimiento y mantenimiento de un área protegida ecológicamente similar de tamaño e integridad adecuados (mejorar y compensar)

Fuente: Duke y Aycrigg 2000.

Plan de manejo ambiental

El plan de manejo ambiental (PMA) debe describir las medidas de manejo, monitoreo e institucionales y el cronograma de ejecución de un proyecto para evitar o controlar los impactos adversos. El EMP también debe describir las acciones necesarias para implementar las últimas medidas y debe incluir lo siguiente:

- ▶ Una lista de todas las actividades e impactos relacionados con el proyecto, organizadas por etapa de desarrollo (planificación, construcción, operación y desmantelamiento).
- ▶ Las medidas de manejo para los impactos relevantes.
- ▶ Un programa de monitoreo que indique la conexión entre los impactos identificados en el informe de EIA, los indicadores que se van a medir, la metodología a utilizar, los sitios de muestro, la frecuencia de las mediciones, los límites de detección (cuando sea apropiado), y la definición de los umbrales que indicarán la necesidad de acciones correctivas.
- ▶ Una lista de las agencias reguladoras involucradas en la implementación del PMA y sus responsabilidades.
- ▶ Las medidas remediales y de monitoreo específicas dadas para las actividades y los impactos de la construcción y operación, haciendo hincapié en el uso de las mejores prácticas de ingeniería, el uso de materiales locales en la medida de lo posible, el manejo de los problemas de drenaje, etc. Esto debe presentarse en consulta con los diseñadores viales.
- ▶ La consideración de los aspectos ecológicos importantes como las relaciones entre el área y las especies, el diseño de áreas protegidas, la viabilidad poblacional de las especies y la conectividad de los hábitats, cuando sea aplicable.
- ▶ El horario, frecuencia, ubicación, y duración de las medidas de mitigación especificadas en el cronograma de ejecución.
- ▶ La programación de los informes que incluya una discusión de lo que se va a entregar, a quién y cuándo, así como las estimaciones de costos y las fuentes de financiación, tanto para gastos no recurrentes como para los recurrentes para la implementación del PMA.
- ▶ Procedimientos para proporcionar información sobre el progreso y los resultados de las medidas de mitigación y monitoreo.
- ▶ Los arreglos institucionales para llevar a cabo las medidas.
- ▶ Necesidades y periodicidad de los programas de entrenamiento, e identificación de los posibles instructores.
- ▶ Inclusión de los costos de las medidas de mitigación en el financiamiento y los mecanismos del proyecto para asegurar que el financiamiento adecuado de los costos recurrentes se incorpora en la ejecución del proyecto
- ▶ Medidas de compensación para los impactos que no se pueden minimizar o mitigar.
- ▶ Diseño paisajístico para mejorar la estética visual.

La evaluación de impactos acumulativos debe producir un Plan de mitigación similar en estructura al PMA, pero que se enfoque en los impactos acumulativos. Todas las medidas y actividades incluidas en el PMA deben presupuestarse plenamente y tener una clara definición de las responsabilidades institucionales (JICA 2013). Debe prepararse un cronograma para estas actividades hecho a la medida de las etapas de planificación, construcción, y operación del proyecto. Más aún, estas actividades deben integrarse en las actividades del proyecto como un todo.

Como una buena práctica, se debe presupuestar el PMA del proyecto e incluir en los documentos de licitación para garantizar que el contratista lo ejecute. La etapa de diseño por lo general concluye cuando el proceso de licitación del proyecto ha terminado y el contrato de construcción se ha adjudicado a un determinado contratista.

Etapa de construcción

Antes de comenzar la construcción, el contratista debe presentar un Plan de implementación del manejo ambiental y social basado en su metodología de construcción, su programa de trabajo, y el tipo y el número de frentes de obras que se abrirán. El Plan de implementación debe demostrar el cumplimiento de los requisitos ambientales y sociales establecidos en los documentos de licitación, el cual debería mejorarse con las prácticas constructivas, los procedimientos de ejecución y los programas del contratista.

La colaboración entre el equipo de diseño y el ambiental debe continuar durante la construcción, ya que el ingeniero de supervisión ambiental puede identificar a tiempo cualquier problema ambiental que surja y proponer medidas para resolverlo.

Técnicas de ingeniería que integran las consideraciones ambientales

El uso de productos y procesos innovadores pueden mejorar la sostenibilidad de la construcción de la infraestructura vial. Esto implica el uso de materiales y procesos alternativos, como productos de alto rendimiento y de valor agregado, lo que disminuye el uso de recursos naturales, al reducir los residuos, el reciclaje, y la reutilización, al mismo tiempo que se optimiza el uso de los recursos económicos (Bustamante y Montoliu 2014). Además, cuando se mejoran las prácticas existentes, tales como el uso de mezcla asfáltica tibia en lugar de las mezclas asfálticas tradicionales, o el uso de materiales alternativos para la construcción de pavimentos, cuando es apropiado (como polímeros o aglutinantes biológicos), se puede eliminar el uso de sustancias peligrosas y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como reducir el consumo de energía (Bustamante y Montoliu 2014). En el Capítulo 6 se describen en más detalle las tecnologías y productos nuevos e innovadores que se pueden utilizar durante la construcción de una vía para mejorar la eficiencia y reducir al mínimo la contaminación, lo que reduce los impactos ambientales generados durante la construcción.

Durante la construcción, por lo general es una mejor opción utilizar los materiales de construcción disponibles localmente (siempre y cuando cumplan con los requisitos de la especificación), así como los recursos, mano de obra y habilidades locales. El uso de materiales locales puede ser rentable y puede reducir al mínimo el polvo y el ruido causados por el transporte de materiales desde largas distancias. Se pueden requerir soluciones y técnicas de ingeniería creativas para el uso de materiales. En áreas como la Amazonía, donde existe un déficit de agregados, podría ser beneficioso utilizar técnicas de estabilización utilizando cal o cemento para la construcción de las capas del pavimento, lo que también reduce la necesidad de transportar materiales. En las zonas montañosas, por ejemplo, como una buena práctica de ingeniería para minimizar los impactos ambientales, debe llevarse a cabo un estudio cuidadoso de la distribución y compensación de tierras, y analizar el tamaño de los cortes y terraplenes, muros y otras estructuras de contención (el uso de la curva de masas de la carretera). La región de América Latina ha sido testigo de un uso excesivo de soluciones de corte de taludes en lugar de muros de contención, tal vez debido a que esto último requiere mayor análisis, más pruebas de campo y cálculos de ingeniería, aunque puede ser una solución más sostenible.

Durante la etapa de construcción se deben tomar medidas para minimizar los impactos ambientales. En el Cuadro 11 se presentan los requisitos mínimos para un manejo ambiental apropiado. Algunos de estos asuntos se discuten más adelante en esta sección.

Cuadro 11. Manejo ambiental

Durante la construcción, todas las actividades como la instalación de campamentos para los trabajadores, los trabajos realizados en el corredor vial, las zonas de préstamo, túneles, trabajos ecológicos, etc., deben tener en cuenta los impactos ambientales potenciales. El contratista debe seguir las disposiciones del PMA y trabajar junto con el supervisor ambiental y el equipo ambiental durante todas las actividades constructivas. Las siguientes especificaciones deben incluirse en los documentos de licitación.

a. Seguridad laboral, instalación de campamentos y sitios de trabajo

- ▶ Fuerza laboral
- ▶ Entrenamiento y sensibilización ambiental
- ▶ Seguridad en los sitios de construcción
- ▶ Instalación de campamentos y sitios de trabajo
- ▶ Aguas residuales
- ▶ Desechos sólidos
- ▶ Desechos químicos y peligrosos
- ▶ Uso y almacenamiento de los

materiales de construcción

- ▶ Mantenimiento de los equipos y maquinaria de la construcción

b. Corredor vial

- ▶ Desmonte y remoción de vegetación de las áreas constructivas
- ▶ Erosión y sedimentación
- ▶ Movimientos de tierra, cortes, rellenos, taludes
- ▶ Calidad del aire
- ▶ Ruido y vibraciones
- ▶ Manejo del tráfico

c. Sitios de almacenamiento de materiales, zonas de préstamo, y túneles

- ▶ Sitios de almacenamiento de materiales, zonas de préstamo o canteras
- ▶ Túneles

d. Consideraciones ecológicas

- ▶ Paisajismo, impactos visuales y restauración
- ▶ Sitios escénicos y áreas sensibles
- ▶ Procedimientos de emergencia ambiental

Erosión y estabilización de taludes – corredores verdes: La cobertura vegetal y los residuos de la vegetación natural protegen el suelo del impacto del viento y el agua, lo que disminuye la escorrentía y aumenta la infiltración del agua. Durante la construcción de carreteras, se remueven árboles y plantas, se alteran las rutas de drenaje natural, y el suelo superficial es despejado de los agregados estables como parte del proceso de desmonte, lo que expone la superficie del suelo a los elementos que causan erosión (GGHACA 2006).

Nota: El control del drenaje y la erosión debe incorporarse en el diseño del proyecto y debe haber un plan establecido para el control de la erosión y la sedimentación antes de que se inicien los movimientos de tierra.

Entre los métodos de control de la erosión se incluyen: empradización con pastos como el vetiver, plantación de arbustos, laderas y taludes terraceados, roca lanzada (*riprap*), gaviones, trinchos de madera, geotextiles, y muros de contención (ver la Figura 8) (Tsunokawa y Hoban 1997). La estabilización de taludes puede llevarse a cabo utilizando técnicas más simples, tales como plantar vegetación o el uso de técnicas sofisticadas tales como muros de contención en situaciones más complejas.

Figura 8. Estabilización de taludes y métodos para el control de la erosión



Los sistemas de suelos reforzados, los suelos confinados o reforzados con geo-sintéticos, o las paredes en tierra estabilizadas mecánicamente, ofrecen una alternativa económica y eficaz con respecto a las estructuras de tipo gravedad tradicionales para la mayoría de las aplicaciones y alturas de paredes o muros. Las estructuras de suelo reforzado incluyen paredes soldadas de alambre, paredes reforzadas con geotextiles, paredes de bloques modulares, muros hechos con llantas, paredes de paneles de concreto, paredes de madera, paredes de madera liviana, o de aserrín reforzadas con geo-sintéticos (Keller et al.2011). El tipo menos costoso de una pared en tierra estabilizada mecánicamente es una pared con geotextil en la que el geo-sintético se utiliza para reforzar, así como para envolver el material alrededor de la cara de la pared (ver la Figura 9). Se puede rociar una emulsión, o añadir una capa más duradera como gunita al geotextil para evitar la degradación cuando se expone al sol (ver la Figura 10). Un geotextil estabilizado con negro de humo ayuda a minimizar la degradación.

Figura 9. Dibujos del diseño de un muro con geotextil

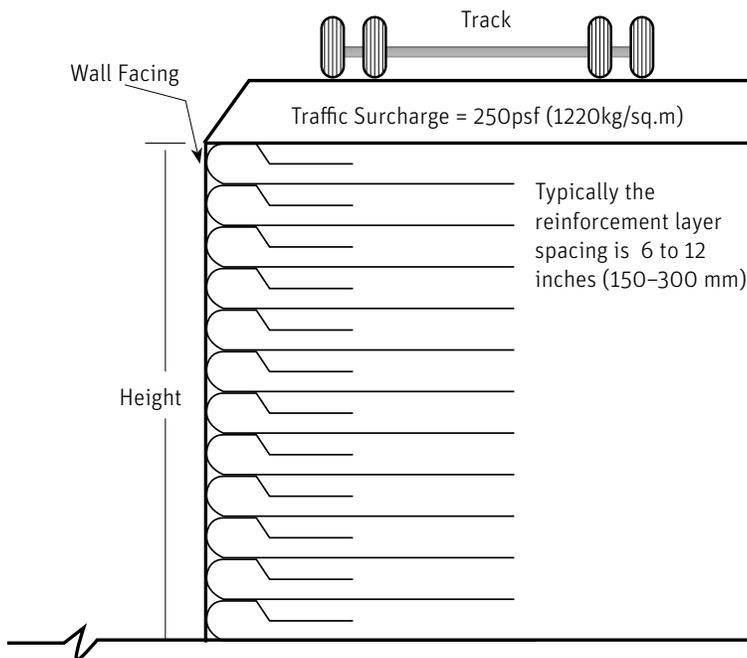
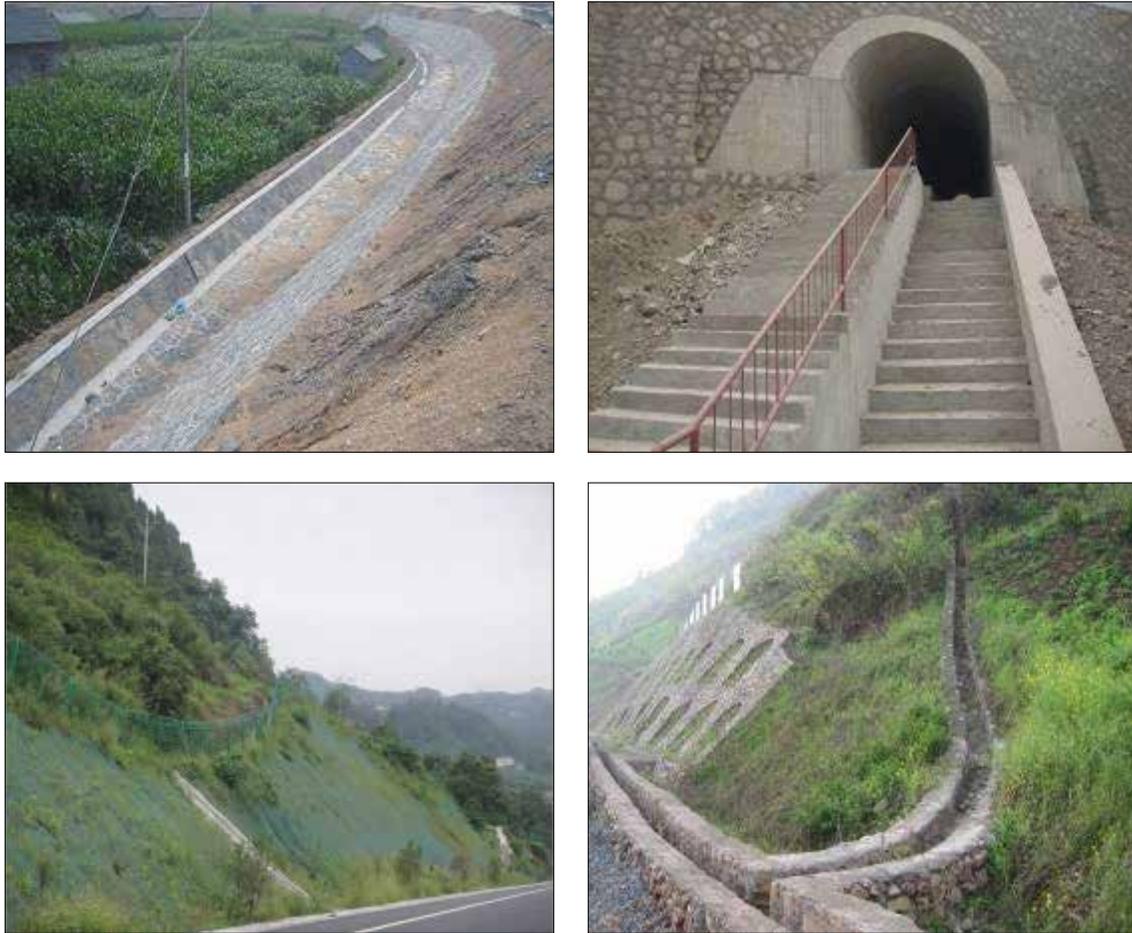


Figura 10. Muro con geotextil que soporta el prisma de una carretera



Drenaje: Una buena planificación, colocación, y construcción del drenaje es muy importante para el control de la erosión y los sedimentos. Los sistemas de drenaje de las carreteras pueden ser útiles para retener más agua en las zonas secas (canalización del agua hacia los acuíferos) o remover agua insalubre estancada. Las estructuras de drenaje deben diseñarse con base en el caudal de diseño (como un evento de tormenta), así como las características del lugar y las consideraciones ambientales como la pesca. Cada estructura debe tener una capacidad de flujo que no debe excederse. Algunos ejemplos de estructuras de drenaje se presentan en la Figura 11.

Figura 11. Estructuras de drenaje



Manejo de la contaminación – control de los sedimentos y el polvo, manejo de los desechos: La contaminación del agua, particularmente por los sedimentos, es un problema durante la construcción cuando se altera una gran cantidad de suelo y se expone a fuerzas erosivas. Las áreas especialmente problemáticas incluyen los sitios de cruce del agua, tales como puentes y culverts, y los sitios de perforación de túneles. Una alta carga de sedimentos puede crear problemas aguas abajo. Entre las medidas para prevenir la contaminación del agua se incluyen: (i) evitar alineaciones que son susceptibles a la erosión, tales como los que cruzan fuertes pendientes; (ii) minimizar el número de cruces sobre el agua siempre que sea posible; (iii) utilizar sólo materiales de relleno limpios alrededor de los cursos de agua, como la roca de cantera que no contiene suelos finos; y, (iv) dejar zonas de amortiguación de vegetación intacta (el ancho debe aumentar en proporción a la pendiente) entre sitios de la carretera y los cuerpos de agua. Además, se pueden ejecutar medidas de mitigación tales como el control del flujo del agua, el uso de lagunas de decantación o tanques de sedimentación (ver Figura 12), la pavimentación de carreteras de tierra y grava, y el uso de sistemas de tratamiento de agua (Tsunokawa y Hoban 1997).

Figura 12. Tanque de sedimentación de pasos múltiples



La contaminación del aire debido a la generación de polvo y el movimiento vehicular y la contaminación acústica causada por las actividades de construcción, como las voladuras o la operación de maquinaria pesada, son comunes durante la construcción. El riego frecuente de las obras de construcción y el cubrimiento de los vehículos que transportan materiales pueden controlar la contaminación del aire (ver Figura 13). El uso de equipo en buen estado y, “silencioso” que opera dentro de las regulaciones de control de ruido existentes, y la limitación de las horas de trabajo cerca de las áreas residenciales pueden controlar la contaminación acústica.

Figura 13. Control del polvo



Se pueden generar cantidades significativas de desechos sólidos y líquidos a partir de grandes proyectos de carreteras. Si no se controlan o tratan, estos residuos pueden convertirse en una fuente importante de contaminación, lo que altera el ecosistema y contribuye a problemas de salud locales (o a veces muchos más amplios). Se estima que los trabajadores de la construcción, en proyectos de mayor envergadura que superan 1.000 personas en un momento dado, pueden generar hasta 60.000 litros por día de residuos líquidos (aguas residuales) y un máximo de 3.000 kilogramos de residuos sólidos (Tsunokawa y Hoban 1997).

También puede ocurrir contaminación por productos químicos, lo cual puede controlarse siguiendo los procedimientos recomendados para almacenar y limitar su uso (por ejemplo, producción de bitumen).

Figura 14. Manejo apropiado de los químicos



Canteras y zonas de Préstamo: Proporcionan materiales para la construcción de carreteras, y si los sitios no se seleccionan y rehabilitan adecuadamente, la construcción pueden tener un impacto significativo en los suelos, el agua y el medio ambiente natural. Esto puede incluir erosión y sedimentación, impactos sobre la calidad del aire, impactos auditivos durante su explotación, así como intrusión visual y estética. Las canteras y las grandes zonas de préstamo deben ser restauradas (ver Figura 15) y se pueden revegetar y desarrollar para una variedad de usos naturales, económicos o recreativos (Tsunokawa y Hoban 1997).

Figura 15. Restauración de las áreas de préstamo



Manejo de los campamentos de los trabajadores: Varias cuestiones son motivo de preocupación en los campamentos de los trabajadores, sobre todo para los proyectos viales más grandes que involucran a trabajadores migrantes o un gran número de trabajadores que viven juntos. Estas cuestiones incluyen la eliminación de residuos (como las aguas residuales), la transmisión de enfermedades dentro del campamento y a las comunidades circundantes, las fuentes de agua y su contaminación, la seguridad, el saneamiento, y las actividades ilegales como la caza.

Es esencial establecer reglas claras sobre el servicio de aseo prestado, como proporcionar recipientes para la basura, limpiar los tanques sépticos y garantizar que el estilo de vida de los trabajadores no tiene efectos negativos sobre el bienestar social y económico de las comunidades cercanas (ver la Figura 16).

Figura 16. Manejo de los desechos



Basureros



Disposición inadecuada de basuras y aguas residuales

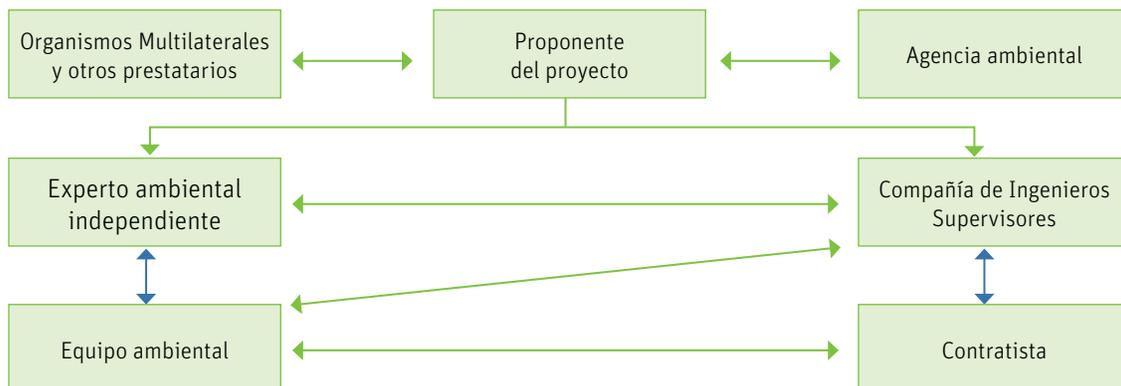
Canaleta para el efluente del agua residual tratada

Funciones y Responsabilidades

Para que el PMA tenga éxito, es esencial la participación activa de todas las entidades: el proponente del proyecto, la agencia ambiental, el representante de los ingenieros, la compañía de ingenieros supervisores, el equipo ambiental, los contratistas, el experto ambiental independiente y los organismos multilaterales u otros prestatarios.

Debe existir una estructura organizativa clara y una línea de comunicación con respecto a la protección ambiental y los requisitos de presentación de información. La Figura 17 presenta un organigrama típico para la construcción de un proyecto vial.

Figura 17. Estructura organizacional típica durante la construcción



Un resumen de las responsabilidades de todas las entidades se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Responsabilidades en el manejo ambiental

Actores claves	Responsabilidades generales
Proponente del proyecto	Desarrolla el PMA específico para el proyecto con base en los resultados del proceso la EIA y los requisitos para las medidas de mitigación y los mecanismos de control. El PMA específico para el proyecto debe formar parte de las especificaciones del contrato del proyecto. El proponente del proyecto tiene la responsabilidad final de desempeño ambiental del proyecto durante las etapas de construcción y operación. Debe emplear a un representante de los ingenieros que deberá actuar como su representante para supervisar las obras del proyecto.
Agencia ambiental	Monitorea el cumplimiento de los requisitos de la EIA, y los requisitos de las licencias ambientales.
Compañía de ingenieros supervisores / Supervisor ambiental	Supervisa los trabajos de construcción del proyecto y los trabajos realizados por los contratistas y por el Equipo ambiental del contratista con el fin de garantizar el cumplimiento de las especificaciones y los requisitos contractuales.
Equipo ambiental establecido por el contratista	Implementa y maneja el programa del PMA y los trabajos requeridos de monitoreo ambiental.
Contratista	Cumple con los requisitos legales ambientales pertinentes; trabaja en el ámbito de los requisitos contractuales y otras condiciones de la licitación; participa en las inspecciones conjuntas organizadas por el Equipo ambiental y se compromete a ejecutar cualquier acción correctiva a instrucción del Equipo ambiental , del supervisor ambiental o del representante de los ingenieros ; proporciona y actualiza la información entregada al Equipo ambiental en relación con las actividades de construcción que pueden contribuir a la generación de impactos ambientales adversos; detiene las actividades de construcción que generan impactos adversos según instrucciones del Equipo ambiental , del supervisor ambiental o del representante de los ingenieros ; se adhiere a los procedimientos para la investigación de quejas.
Experto ambiental independiente	Comprueba, revisa, verifica, y valida el desempeño ambiental general del proyecto mediante auditorías, inspecciones, y revisiones periódicas de los informes producidos por el proyecto.
Organismos multilaterales y otros prestatarios	Supervisa las obras del proyecto, lleva a cabo auditorías periódicas, revisa los informes presentados y los resultados de las auditorías realizadas por el Experto ambiental independiente, y asegura que el proyecto se lleva a cabo de acuerdo con las especificaciones del contrato y cumple con las políticas y procedimientos internos.

Fuente: Atkins 2007.

Para minimizar los impactos sobre el medio ambiente durante la construcción de carreteras, es esencial una supervisión ambiental. Esto puede llevarse a cabo como parte de la supervisión de ingeniería o por un equipo ambiental independiente. Se recomienda la supervisión ambiental independiente para asegurar el cumplimiento de todas las disposiciones del PMA, en particular en zonas sensibles.

Durante la inspección de supervisión, debe llevarse a cabo un monitoreo y un seguimiento de la construcción de la carretera, los puentes, los túneles y demás obras viales para garantizar el cumplimiento con el PMA o cualquier otra medida de mitigación ambiental desarrollada, así como con las especificaciones técnicas del proyecto y los documentos contractuales.

Se requieren inspecciones periódicas para revisar el estado de las medidas de protección ambiental y de la eficacia de las medidas de mitigación ambiental, así como el desempeño ambiental del proyecto. Cuando sea necesario, el supervisor ambiental deberá recomendar alternativas con el menor impacto ambiental.

Deben seguirse los parámetros, la ubicación y la frecuencia de los monitoreos previstos en el PMA y, si ser necesario, se deben hacer cambios. Expertos calificados deben llevar a cabo el monitoreo y las muestras deben manejarse y analizarse adecuadamente.

Entrenamiento ambiental

El éxito de los procesos de evaluación ambiental y la implementación de las medidas de mitigación depende del conocimiento de los problemas ambientales que tengan todos los involucrados en todas las etapas del proyecto. Es necesario llevar a cabo un entrenamiento ambiental para los especialistas ambientales que trabajan en los estudios, en los planes de mitigación y en la supervisión. También es esencial para el personal de las agencias viales, especialistas técnicos, contratistas, consultores, y cualquier otra persona involucrada en el desarrollo de la carretera (Tsunokawa y Hoban 1977).

Las evaluaciones de las necesidades de entrenamiento deben ser parte de todos los estudios o evaluaciones específicas que se llevan a cabo durante el ciclo del proyecto vial. Las necesidades de entrenamiento a nivel sectorial deben incluir herramientas de planificación y metodologías para la evaluación estratégica. Las evaluaciones ambientales deben identificar las necesidades de capacitación y entrenamiento para la implementación del PMA. El contenido del entrenamiento debe adaptarse para responder a las necesidades de cada grupo. El tiempo y frecuencia del entrenamiento serán diferentes para cada grupo. Por ejemplo, el entrenamiento para los gerentes se puede realizar durante uno o dos días, mientras que la de los ingenieros de supervisión debe continuar durante uno o dos años o por la duración de la construcción, y debe abarcar una gama de temas tales como métodos y procedimientos técnicos, una introducción a la ecología y directrices para la organización y el manejo ambiental.

Especialistas capacitados deben llevar a cabo el entrenamiento ambiental, los cuales deben ser expertos especializados en el medio ambiente natural, o profesionales viales que ya han tenido experiencia en el campo con la evaluación ambiental y con los procedimientos del proyecto vial (Tsunokawa y Hoban 1997). Durante la construcción, el entrenamiento de los trabajadores y el personal técnico generalmente se lleva a cabo por el supervisor ambiental.

Etapas de Operación y Mantenimiento

La operación y el mantenimiento de carreteras, autopistas, puentes y túneles implica la inspección, el mantenimiento rutinario y estacional, y la reparación no sólo de las estructuras de las carreteras y puentes, sino también del derecho de vía donde se encuentran las estructuras de drenaje. Durante la operación, la emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático es un tema de preocupación. El manejo de las emisiones es un asunto nacional y parte del proceso de planificación nacional más amplio y de la estrategia sobre el cambio climático. Este tema está fuera del alcance de esta Guía, y como resultado no se discute aquí.

Otros asuntos que deben monitorearse durante la etapa de operación incluyen efectos sobre la biodiversidad local, contaminación del agua y acústica, el suelo, los residuos, y la seguridad. El monitoreo regular durante la fase de operación de una carretera es necesario para verificar que las disposiciones establecidas durante las etapas de diseño y construcción son válidas y eficaces. Deben seguirse las medidas de monitoreo especificadas en el PMA y realizar modificaciones en caso necesario. Deben llevarse a cabo monitoreos del drenaje, de la calidad de las aguas pluviales, y de la eliminación de las aguas superficiales o los derrames peligrosos. La flora local debe protegerse y re-plantarse cuando sea necesario. El uso de pasos de fauna y el número de muertes causadas por atropellamiento debe controlarse para comprobar la eficacia de las estructuras de pasos de fauna y mantener condiciones de conducción seguras.

Se pueden utilizar cámaras trampa o sensores de movimiento para determinar la especie y la frecuencia de uso de los pasos de fauna. En áreas sensibles o con alta biodiversidad, debe llevarse a cabo un patrullaje regular, posiblemente en coordinación con las agencias forestales, para impedir la caza o la captura de animales y otras actividades ilegales de vida silvestre. El monitoreo durante la operación puede ayudar a identificar los posibles problemas que puedan surgir y que requieren reparación (mantenimiento) para minimizar los impactos ambientales y extender la vida útil de la superficie vial y su infraestructura asociada. Entre las áreas más importantes que deben monitorearse se incluyen las siguientes:

- ▶ Pavimento y derecho de vía
 - La superficie de rodadura y el derecho de vía deben estar libres de obstrucciones, basura, escombros, y animales muertos.
 - Los baches o huecos deben ser inexistentes o su cantidad y tamaño debe estar por debajo de un cierto mínimo.
 - La vegetación en el derecho de vía no debe exceder la altura especificada.
 - Ningún árbol debe obstruir el tráfico o la visibilidad o representar un peligro para la seguridad.
 - Los taludes deben estar libres de material suelto y deben estabilizarse utilizando vegetación.
- ▶ Sistema de drenaje

- Los culverts deben estar libres de escombros o sedimentos o hasta un porcentaje máximo de la sección transversal.
- Las estructuras de drenaje superficial deben estar libres de sedimentos o escombros o hasta un porcentaje máximo de su sección transversal.
- Los lechos de los ríos deben limpiarse hasta una cierta distancia de los bordes de la carretera.
- ▶ Obras viales
 - Los muros de contención deben estar en buenas condiciones estructurales.
 - Las estructuras de los puentes deben estar estructuralmente firmes y libres de basuras y escombros.
 - Los túneles deben ser estructuralmente adecuados y estar libres de basuras y escombros.
 - Los pasos de fauna deben estar en buenas condiciones estructurales y estar libres de basuras y escombros.
- ▶ Señalización y medidas de seguridad
 - Las señales de tráfico, los avisos y las marcaciones de la carretera deben estar completos, limpios y claramente visibles.
 - Las barandas y los pasamanos de los puentes deben estar limpios, pintados, y claramente visibles.

El mantenimiento como un factor clave para la sostenibilidad vial

Por lo general, una vez que se han construido las carreteras – después de haber pasado por las etapas de planificación, diseño y construcción, que conllevan una gran cantidad de recursos y tiempo – ellas son descuidadas, y muchas veces sólo reciben reparaciones de emergencia ocasionales. Una vez que las carreteras se degradan con el tiempo (véase el Capítulo 2, Figura 1), se inicia el ciclo de rehabilitación o reconstrucción y, una vez más, se requieren recursos, tiempo y esfuerzo sustanciales para llevar la vía a su estado de uso original. Este círculo vicioso de construcción, degradación y rehabilitación se puede evitar si se presta atención al mantenimiento de las carreteras. El mantenimiento puede prolongar la vida de las carreteras existentes, con el consiguiente ahorro de tiempo y recursos que de otra manera tendrían que utilizarse en la planificación, la rehabilitación, o las obras de reconstrucción. Se estima que si no se reparan los daños de una vía, toda una sección de la vía puede fallar por completo, lo que requeriría se reconstrucción completa con un valor tres veces o más del costo promedio del mantenimiento (Burningham y Stankievich 2005). El mantenimiento preventivo (evitar daños en la vía y prevenir los accidentes de tráfico), complementado por un mantenimiento correctivo a tiempo (reparación de la vía), es el camino más costo-efectivo. El mantenimiento también es esencial para la seguridad, ya que las vías en mal estado pueden conducir a accidentes.

Como las actividades de mantenimiento se llevan a cabo en la plataforma existente y tienen el propósito de garantizar que todas las estructuras asociadas estén funcionando, como los drenajes y los culverts, los impactos sobre el medio ambiente son mínimos e incluso pueden evitarse (ver la Figura 18). Por ejemplo, los drenajes obstruidos pueden conducir a la acumulación de agua, lo que podría afectar la superficie de rodadura y convertirse en criaderos de mosquitos. Si se producen derrumbes o deslizamientos de tierra, estos sitios pueden identificarse fácilmente y pueden llevarse a cabo obras de protección de taludes, lo que conduciría a la prevención de accidentes y a la extensión de la vida de la carretera. De este modo, a través de un mantenimiento regular se puede garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la carretera y de sus estructuras asociadas.

Figura 18. Actividades de mantenimiento



Culvert antes y después de las actividades de mantenimiento



Carretera antes y después de las actividades de mantenimiento (remoción de escombros)

Al igual que con otras actividades de la construcción de carreteras, las obras de mantenimiento pueden causar impactos ambientales, pero en menor escala. Los impactos pueden incluir erosión, perturbación del flujo de agua, contaminación química, perturbación del tráfico y ruido, como se discutió anteriormente. La mayor parte de las medidas de mitigación durante la construcción son aplicables durante la etapa de mantenimiento.

Actividades importantes

Las actividades de mantenimiento rutinario incluyen limpieza y reparaciones menores al pavimento, las bermas o sobre-anchos y el derecho de vía para garantizar una visibilidad adecuada y el tránsito normal de vehículos y limpieza y reparaciones menores al sistema de drenaje para garantizar el transporte seguro y la eliminación del agua de escorrentía y el flujo libre los cursos de agua (Banco Mundial 2008a). En la Tabla 11 se presenta una descripción de las principales actividades de mantenimiento de rutina en virtud de estos grupos. Los diversos componentes que requieren mantenimiento son:

- ▶ **Superficie de rodadura:** limpieza de la superficie de rodadura; eliminación de derrumbes menores; reparación y sellado de grietas, juntas, cárcavas y surcos; parcheo de huecos en el pavimento y las bermas.
- ▶ **Derecho de vía:** limpieza del derecho de vía; corte del césped y los arbustos; recorte, corte, y remoción de árboles; remoción del material suelto de los taludes; estabilización de taludes.
- ▶ **Sistema de Drenaje:** limpieza y reparación de culverts y entradas a los sistemas de drenaje; limpieza y reparación de drenajes secundarios, cunetas y otras estructuras de drenaje superficial; limpieza pequeños cursos de agua.
- ▶ **Obras viales:** reparación de muros de contención, limpieza y reparación de las estructuras de los puentes.
- ▶ **Señalización y seguridad vial:** limpieza, pintura y mantenimiento de las señales de tráfico, las marcaciones de la carretera, barandillas, pasamanos de los puentes y estructuras de túneles y remoción de obstáculos en el derecho de vía.

Tabla 11. Actividades de mantenimiento rutinario

Actividad	Descripción
Inspección y limpieza de la vía	Inspección de la vía para determinar si es necesario reparar problemas urgentes y remoción de obstrucciones y cualquier material suelto.
Remoción de deslizamientos de tierra de hasta 10 m ³	Remoción de pequeños deslizamientos menores de 10 m ³ de la superficie de rodadura, las bermas, y las cunetas de drenaje para permitir el paso vehicular normal y un drenaje apropiado.
Limpeza de cunetas de drenaje	Clearing the side ditches and other drainage ditches of sediment and other material that may obstruct the free flow of water in order to ensure proper drainage and the protection of the road. Limpeza de las cunetas laterales y otros drenajes de sedimentos y otros materiales que puedan obstaculizar el libre flujo del agua con el fin de garantizar un drenaje apropiado y la protección de la vía.
Limpeza de culverts	Clearing boulders, branches, and other material that may obstruct the free flow of water below the bridges in order to ensure proper drainage and the protection of the road. Remoción de sedimentos y otros materiales que puedan obstaculizar el libre flujo del agua en los culverts para garantizar un drenaje apropiado y la protección de la vía.
	Filling up and compacting the road shoulder to the height of the road surface in order to avoid damage to vehicles and to ensure that the road pavement is not undermined.
Limpeza de puentes	Removing loose material from cracks and joints and sealing them with bitumen to avoid water entering and causing more severe damage to the road. Remoción de piedras, ramas, y otros materiales que puedan obstaculizar el libre flujo del agua por debajo de los puentes para garantizar un drenaje apropiado y la protección de la vía.
Limpeza del derecho de la vía	Corte de la vegetación que crece en el derecho de vía e impide la visibilidad, restringe el tráfico vehicular normal, o daña la vía, los sistemas de drenaje u otras obras de arte, así como también recolección de basura.
Reparación de bermas	Relleno y compactación de bermas hasta la altura de la superficie de rodadura para evitar daños a los vehículos y para garantizar que el pavimento no se vea perjudicado.
Sellado de grietas y juntas	Remoción de material suelto de grietas y juntas y sellado con bitumen para evitar que el agua penetre en ellas y cause un daño más severo a la vía.
Reparación de huecos	Relleno de huecos pequeños con asfalto compactado para restaurar el pavimento a una superficie uniforme y permitir el tránsito normal de vehículos.
Remoción de material suelto de los taludes	Remoción de piedras y tierra suelta de los taludes ubicados por encima de la vía para evitar que caigan sobre la superficie de rodadura o causen deslizamientos, lo que podría dañar la vía o los vehículos.
Reparación de muros de contención	Reemplazo de las piedras sueltas en el muro de contención y limpieza de los orificios o tubos de drenaje para permitir un drenaje apropiado y evitar que el muro colapse.

Fuente: Banco Mundial 2008a.

Plan de mantenimiento

Debe identificarse la agencia responsable de los trabajos de mantenimiento. Esto varía entre países y municipios. Los modelos más comunes incluyen un departamento de mantenimiento central de la agencia vial, adjudicación de carreteras individuales y redes de carreteras a contratistas, asociación de municipios que compran equipos y mantienen equipo de mantenimiento y rotan los contratos de servicio, rehabilitación y mantenimiento, microempresas en las comunidades locales, y grupos de mantenimiento en municipios o poblaciones.

Las actividades de mantenimiento se deben planificar en el transcurso del año, teniendo en cuenta la época del año y de la necesidad y la frecuencia de la actividad. Por ejemplo, la limpieza de las estructuras de drenaje debe llevarse a cabo antes de que comience la temporada de lluvias y por la duración de la temporada, lo que garantiza que los drenajes permiten el libre flujo de las aguas de escorrentía. En la Figura 19 se muestra un ejemplo de un cronograma de mantenimiento.

Figura 19. Cronograma de mantenimiento vial

Actividad	Mes	Período seco		Período lluvioso				Período seco					
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1. Inspección y limpieza de la vía													
2. Remoción de deslizamientos de hasta 10m ³													
3. Limpieza de cunetas													
4. Limpieza de culverts													
5. Limpieza de puentes													
6. Limpieza del derecho de vía													
7. Reparación de bermas													
8. Sellado de grietas y juntas													
9. Reparación de huecos													
10. Remoción de material suelto de los taludes													
11. Reparación de muros de contención													

■ Prioridad alta ■ Prioridad baja

Participación de la comunidad

Las comunidades locales pueden desempeñar un papel significativo en las actividades de mantenimiento (ver el Cuadro 12). En algunos países, como Perú o Colombia, las comunidades locales participan a través de microempresas. La creación de microempresas para las labores de mantenimiento rutinario con mano de obra, tanto de la red pavimentada como de la red no pavimentada, complementado con el mantenimiento periódico (por lo general hecho con maquinaria) cada pocos años, asegura la sostenibilidad de las carreteras.

Las comunidades locales, ya sea a través de microempresas o a través de otras formas de contratos, utilizan métodos basados en mano de obra y herramientas manuales en la realización de diferentes actividades dirigidas a la mejoría y el mantenimiento de un tramo de la carretera. La experiencia de América Latina muestra que la contratación de microempresas para el mantenimiento vial rutinario ha mejorado las condiciones de la vía a lo largo de los años, y ha extendido la vida útil de las carreteras, lo que ha reducido los costos de transporte y tiempos de viaje y aumentado la actividad económica y los ingresos (Banco Mundial 2008b).

Cuadro 12. Experiencias en América Latina

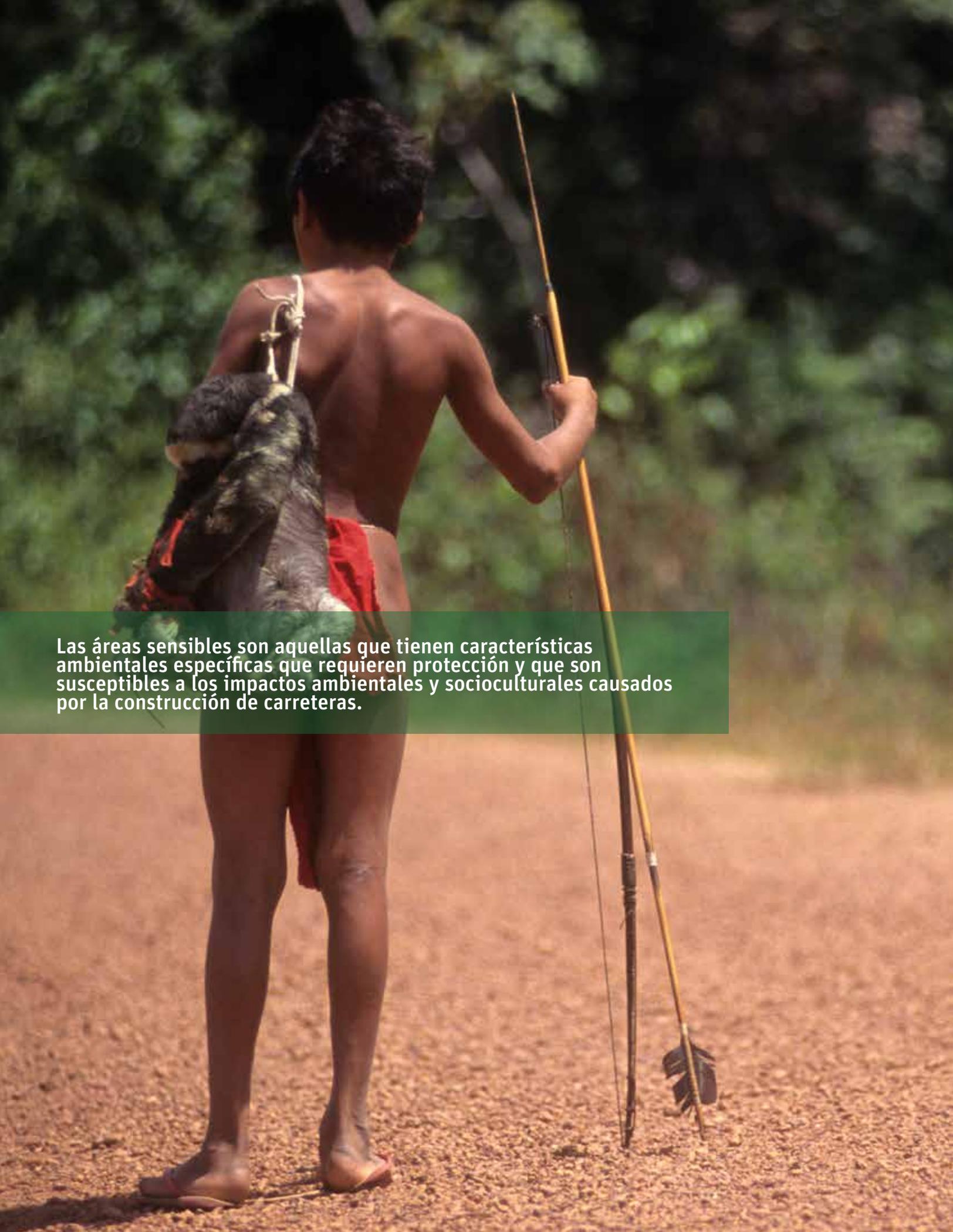
Los datos sobre las carreteras que reciben mantenimiento rutinario en el Perú mostraron que los costos de transporte se redujeron en más del 20%, el tráfico se aumentó en más de un 100%, y los tiempos de transporte se redujeron a la mitad.

En Honduras, el Departamento de mantenimiento empleó 5.208 personas en la ejecución de las actividades de mantenimiento por administración, lo que resultó en bajos niveles de eficiencia y el 74% del presupuesto gastado en salarios. Con la introducción del sistema de mantenimiento rutinario basado en microempresas como parte del Fondo Vial, el personal requerido se redujo a 700 personas y la cobertura se incrementó considerablemente. Mientras que en el antiguo Departamento de mantenimiento cada empleado era responsable en promedio por 2,6 km de carreteras, cada empleado del Fondo Vial es responsable por 368 km de carreteras.

Fuente: Banco Mundial 2008b.

Tabla 12. Componentes a considerar en áreas sensibles

Áreas sensibles	Componentes
Bosques	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tipo de vegetación ▶ Flora y fauna, incluso amenazadas y en peligro de extinción ▶ Rutas/corredores migratorios ▶ Rutas áreas ▶ Áreas de alimentación y reproducción ▶ Cuerpos de agua, hábitats acuáticos ▶ Especies de peces ▶ Pesca comercial ▶ Caza o captura de fauna ▶ Áreas de conservación planificadas
Hábitats acuáticos (Pantanos, estanques, lagos, arroyos, humedales)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aves ▶ Fauna acuática – peces y otras especies ▶ Áreas de reproducción
Arrecifes coralinos	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Especies de peces/diversidad ▶ Especies coralinas ▶ Corales amenazados/en peligro de extinción y especies de peces ▶ Especies de invertebrados
Áreas costeras y ribereñas	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Especies de aves incluidas aves reproductoras ▶ Especies de peces ▶ Especies de árboles de manglar ▶ Especies de fauna como mamíferos ▶ Biodiversidad marina ▶ Invertebrados como ostras, cangrejos, camarones
Pastizales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tipo de vegetación ▶ Flora y fauna, incluso amenazadas y en peligro de extinción ▶ Rutas/corredores migratorios ▶ Rutas áreas ▶ Áreas de reproducción y alimentación ▶ Cuerpos de agua, hábitats acuáticos
Cavernas	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tipos de invertebrados ▶ Especies amenazadas y en vías de extinción ▶ Presencia de fósiles ▶ Tipos de roca
Desiertos	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tipos de invertebrados ▶ Flora y fauna, incluso amenazadas y en peligro de extinción
Sabanas	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Desertificación y suelos estériles ▶ Caza o captura de fauna
Zonas montañosas	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Plantas endémicas y especies clave de animales
Sitios culturales	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tipo y tamaño del sitio cultural ▶ Tipo de vegetación alrededor del sitio ▶ Acceso al sitio
Tierras productivas	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Naturaleza del uso del suelo ▶ Presencia de cualquier infraestructura como para irrigación ▶ Cuerpos de agua

A young boy from a tribal community is shown from the back, standing on a dirt path. He is carrying a large animal skin on his back and holding a spear. The background is a dense forest.

Las áreas sensibles son aquellas que tienen características ambientales específicas que requieren protección y que son susceptibles a los impactos ambientales y socioculturales causados por la construcción de carreteras.

Capítulo 5

Soluciones técnicas para carreteras en áreas sensibles

Las áreas sensibles son aquellas que tienen características ambientales específicas que requieren protección y que son susceptibles a los impactos ambientales y socioculturales causados por la construcción de carreteras (MPW 2008). Los impactos en áreas sensibles pueden ser más graves que en otros lugares. Como una buena práctica, debe evitarse la construcción en áreas sensibles, particularmente en aquellos lugares en los que los impactos pueden causar daños irreparables al medio ambiente, como por ejemplo en los manglares (ver el Cuadro 13). Incluso si las carreteras no están situadas en áreas sensibles, la proximidad a ellas puede tener un impacto potencial sobre dichas áreas. Es difícil, y probablemente imposible en algunos lugares, controlar los efectos de las actividades humanas después de que se han construido las carreteras, como por ejemplo, el aumento del desmonte de tierras y el desarrollo, la migración y el movimiento de personas, y el aumento de la caza o la captura ilegales (van der Ree, Smith y Grilo 2015).

Cuadro 13. Impactos irreversibles sobre hábitats sensibles: Carretera Ciénaga-Barranquilla, Colombia

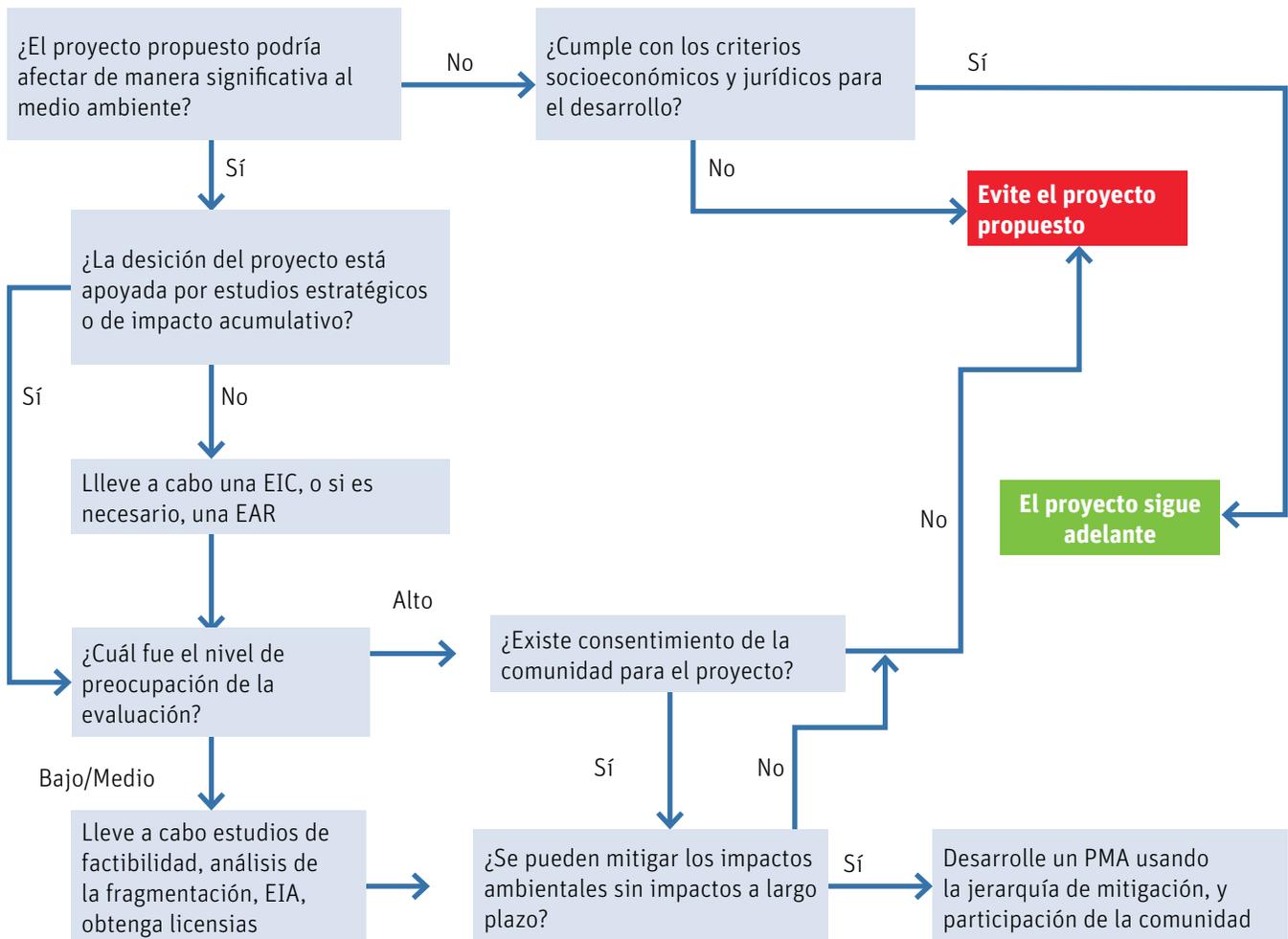
El paso de la carretera Ciénaga-Barranquilla a través de la Ciénaga Grande de Santa Marta, afectó la hidrología del complejo de humedales, lo que resultó en una mortalidad considerable de los manglares de casi 70% y en una disminución de las poblaciones de peces. En los 40 años siguientes a la construcción de esta carretera, el hábitat natural se ha modificado drásticamente en parte como efecto directo de la carretera, así como también por los efectos acumulados de otros desarrollos sobre la hidrología y la salinidad. La carretera también abrió el acceso a los manglares para la extracción de madera comercial, acelerando su declive.

El proyecto PROCIEENAGA se puso en marcha en 1992 con el objetivo de restaurar los flujos hidrológicos naturales mediante el restablecimiento de las conexiones entre el océano y la laguna que se bloquearon durante la construcción de la vía, así como las conexiones entre la laguna y el río Magdalena. En los 18 años de esfuerzo después de que finalizó el proyecto, las conexiones restauradas no se han mantenido adecuadamente y como resultado el humedal se ha vuelto a llenar de sedimentos, lo que ha conducido a la mortalidad de peces y la muerte regresiva de los manglares. En 2005, el gobierno introdujo un impuesto ambiental al peaje de la carretera para apoyar el dragado y otras actividades de mantenimiento. A pesar de todos los esfuerzos, la erosión de la carretera continúa, y se requiere trabajo adicional para restaurar el entorno natural.

Fuente: Mandle, Griffin y Goldstein 2014.

Debe llevarse a cabo una diligencia adecuada y utilizarse una metodología rigurosa como la que se muestra en la Figura 20 para llegar a la decisión de seguir adelante en un área sensible. Si, efectivamente, se tomó la decisión de seguir adelante, entonces, además de las buenas prácticas presentadas en el Capítulo 5, deben utilizarse las medidas específicas de mitigación que se discuten en este Capítulo. Se debe tener precaución en la planificación de medidas de protección en las áreas sensibles y, dependiendo de la naturaleza del impacto, puede que tenga que modificarse la medida de mitigación. Un ejemplo es la planificación de pasos de fauna. Un paso elevado puede que sea adecuado para ungulados como ciervos y antílopes, mientras que los pasos a desnivel pueden ser más apropiados para grandes depredadores que no les gusta estar expuestos, como los jaguares.

Figura 20. Proceso en la toma de decisiones



Minimización de los impactos

Las áreas sensibles más comúnmente encontradas durante la construcción de carreteras son las áreas protegidas, los cuerpos de agua y las cavernas o cuevas. En esta sección se describen las medidas de mitigación específicas que deben tomarse en estos lugares, y en la Tabla 13 se presentan algunas medidas de mitigación típicas relevantes a estas áreas.

Tabla 13. Principales impactos ambientales y medidas típicas de mitigación

Tipo de impacto	Medidas típicas de mitigación
<p>Descapote, Remoción de vegetación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Pérdida de hábitats ▶ Alteración de hábitats o fragmentación ▶ Efectos de borde 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ La remoción de vegetación o el descapote deben evitar el efecto dominó (árboles que caen longitudinalmente al derecho de vía) ▶ Rescate de especies sensibles de flora y fauna ▶ Tala selectiva o salvamento de especies maderables ▶ Reforestación/paisajismo a lo largo del derecho de vía ▶ El derecho de vía puede usarse como un corredor para la biodiversidad al conectar diferentes áreas
<p>Las carreteras actúan como barreras:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Obstrucción de los movimientos migratorios ▶ Obstrucción de la fauna local 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cruces de fauna; más efectivos los cruces de fauna para múltiples especies ▶ Diseño mejorado de puentes, culverts para que actúen como cruces de fauna ▶ Viaductos en áreas sensibles para los movimientos de fauna ▶ Cruces del dosel en caminos rurales
<p>Las obras viales (movimientos de tierra, cortes, excavaciones, rellenos, etc.) causan erosión que:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Degrada la calidad del agua ▶ Afecta la vida acuática 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Estabilización/revegetación de taludes ▶ Restauración de áreas afectadas ▶ Restauración/revegetación de canteras, zonas de préstamo, sitios de disposición de desechos o botaderos
<p>Desvío y cruce de humedales, ríos, y quebradas o trabajos cercanos a éstos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Afecta el balance hidrológico ▶ Desbalance de salinidad en los manglares ▶ Efecto de barrera a los movimientos de la vida acuática 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Culverts y drenajes diseñados y ubicados apropiadamente ▶ Culverts múltiples en los humedales ▶ Puentes largos o viaductos para cruzar los humedales ▶ Zonas de amortiguación con vegetación inalterada entre las carreteras y los cursos de agua
<p>Las carreteras proporcionan acceso a áreas remotas o áreas sensibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Durante la construcción por los trabajadores y los campamentos ▶ Por los colonos que traen deforestación, uso ilegal de recursos naturales y cambios en el uso del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Especificaciones ambientales para la construcción y los campamentos ▶ Supervisión ambiental durante la construcción ▶ Código de conducta para los trabajadores ▶ Limitación de la fuerza laboral a las áreas sensibles
<p>El incremento en el tráfico en las carreteras conduce a:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Muertes por atropellamiento ▶ Efectos del ruido sobre la fauna 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Cruces de fauna ▶ Cercas para la fauna ▶ Señales de fauna ▶ Control de los límites de velocidad ▶ Limitaciones en el tráfico nocturno ▶ Medidas especiales en áreas protegidas

Áreas protegidas (áreas forestales)

Las obras viales en o alrededor de las áreas protegidas representan riesgos y desafíos significativos. La mayoría de los parques nacionales están designados como tales debido a su importancia ecológica o a su valor recreativo y se reservan de esta manera para su protección y conservación. Siempre es preferible evitar la construcción de una carretera para el tráfico de paso a

través de un parque nacional u otra área protegida. En los casos en que grandes carreteras deban ir a través de los parques y se anticipa que haya conflictos entre los usuarios de la vía y el entorno natural, se podrían implementar diversas medidas de mitigación que de otra manera podrían no estar justificadas. En el Cuadro 14 se presentan los resultados de un estudio realizado en el sudeste de Asia sobre la manera de minimizar los impactos de la construcción de carreteras en los mamíferos en peligro de extinción. Entre las medidas especiales para obras viales en las áreas protegidas se incluyen las siguientes:

- ▶ Promulgación y aplicación de leyes que prohíban la caza, el transporte de sustancias peligrosas, y la remoción de materiales vegetales del parque.
- ▶ Inspección de los contenidos de los vehículos que entran en el parque para desalentar la entrada de cargas potencialmente peligrosas, como el ganado – cuando hay razones para creer que la propagación de enfermedades puede ser un problema – y la inspección de los vehículos que salen del parque para impedir la captura de animales y la remoción de materiales vegetales.
- ▶ Medidas educativas destinadas a informar a los viajeros acerca de por qué no deben alimentar a la fauna, remover plantas, arrojar basura, etc., y para inculcar una apreciación general de la conveniencia de la conservación.
- ▶ Implementación de medidas de control del tráfico, tales como restricciones en el volumen vehicular, señalización visible, límites de velocidad más bajos (especialmente por la noche), y prohibición para que los vehículos se detengan mientras cruzan el parque.
- ▶ Provisión de áreas de descanso con recipientes para la basura y servicios sanitarios para desalentar las paradas indiscriminadas a lo largo del borde de la carretera y el arrojado de basura.
- ▶ Uso de características de diseño tales como cunetas o zanjas profundas, bermas estrechas, y barreras para desalentar paradas en la carretera.
- ▶ Prohibir campamentos, canteras, zonas de préstamo y sitios de disposición de basura dentro de los límites del parque.

Cuadro 14. Lecciones del sudeste de Asia

Con base en un estudio para identificar carreteras que específicamente amenazaban a los mamíferos en peligro de extinción en el sudeste asiático, los autores propusieron las siguientes medidas de mitigación para limitar los impactos viales en la región:

- ▶ Mantener y mejorar la conectividad de los bosques a ambos lados de las carreteras existentes (por ejemplo, pasos a desnivel, pasos elevados, señales de tráfico y culverts).
- ▶ Aumentar los esfuerzos de vigilancia en las carreteras existentes que atraviesan hábitats de especies en peligro de extinción.
- ▶ Reducir al mínimo las amenazas de caminos forestales mediante prácticas de un manejo forestal sostenible
- ▶ Regulariza la tenencia de la tierra antes de la construcción de las carreteras.
- ▶ Aumentar el compromiso de las agencias viales en la planificación de la conservación.
- ▶ Integrar la planificación vial con todos los organismos gubernamentales pertinentes.
- ▶ Llevar acabo proyecciones de la pérdida económica y de la biodiversidad antes del desarrollo vial.
- ▶ Explorar esquemas de compensación que puedan minimizar la necesidad de las carreteras propuestas o sus impactos.
- ▶ Realizar auditorías de las evaluaciones de los impactos ambientales y sociales.
- ▶ Sensibilizar a la población de los impactos ambientales de los proyectos viales.

Fuente: Clements et al. 2014.

Cuerpos de agua

Las carreteras pueden conducir a la modificación de los caudales de las aguas subterráneas o superficiales, así como a una degradación de la calidad del agua. Los cambios en los caudales pueden afectar la hidrología y los hábitats de la flora y la fauna. Deben evitarse las áreas sensibles. Cuando esto no sea posible, se debe dar prioridad a rutas alternativas con una alteración

mínima para el ecosistema acuático. En el Proyecto del sector vial de Belice, una carretera bajo el programa atravesó una zona de humedales. En lugar de terraplenes largos, el proyecto incluyó numerosos culverts que permitieron un flujo más natural (y no concentrado) de agua entre el lado izquierdo y el derecho de la carretera (ver la Figura 21). Las siguientes son algunas de las medidas especiales para proteger a los cuerpos de agua:

- ▶ Evitar alineaciones que son susceptibles a la erosión como aquellas que cruzan pendientes muy empinadas.
- ▶ Reducir al mínimo el número de cruces de cuerpos de agua siempre que sea posible.
- ▶ Utilizar sólo materiales de relleno limpios alrededor de los cursos de agua como roca de cantera que no contenga finos.
- ▶ Dejar zonas de amortiguación con vegetación inalterada (el ancho debe aumentar en proporción a la pendiente) entre la carretera y los cuerpos de agua.
- ▶ Pavimentar secciones de carreteras de tierra o grava que son propensas a la erosión cerca de cuerpos de agua para reducir la cantidad de sedimentos producido.
- ▶ Instalar y mantener controles temporales contra la erosión y la sedimentación a lo largo del derecho de vía donde las actividades de la construcción puedan perturbar los suelos cerca de los cursos de agua.
- ▶ Mantener el caudal de los cursos de agua mediante la instalación correcta de culverts del tamaño apropiado.
- ▶ Utilizar puentes con luces más largas y reducir o eliminar muelles para ayudar a limitar los efectos sobre los sistemas acuáticos.
- ▶ Diseñar puentes y culverts con características hidráulicas que permitan que los organismos acuáticos pasen a través de ellos en ambas direcciones, según sea apropiado para las diferentes etapas de su vida.

Figura 21. Mantenimiento del flujo del agua



Cavernas y áreas kársticas

La construcción de carreteras en las zonas kársticas plantea desafíos sensibles, dada la presencia de cuevas o cavernas. Por lo general, se sabe poco de la biodiversidad de las cavernas, por lo que se necesitan estudios específicos para las cavernas para identificar su importancia. El Plan de manejo ambiental (PMA) debería incluir medidas de mitigación específicas para estos casos, tales como la instalación de una rejilla en la entrada de los culverts para impedir el acceso humano, pero permitir el paso de los murciélagos y el del flujo del agua; la protección de la cuenca de la caverna para evitar la contaminación de las aguas subterráneas; y la instalación de barreras de retención de sedimentos, y franjas filtrantes para evitar el escurrimiento de sedimentos de las obras de construcción en los sumideros.

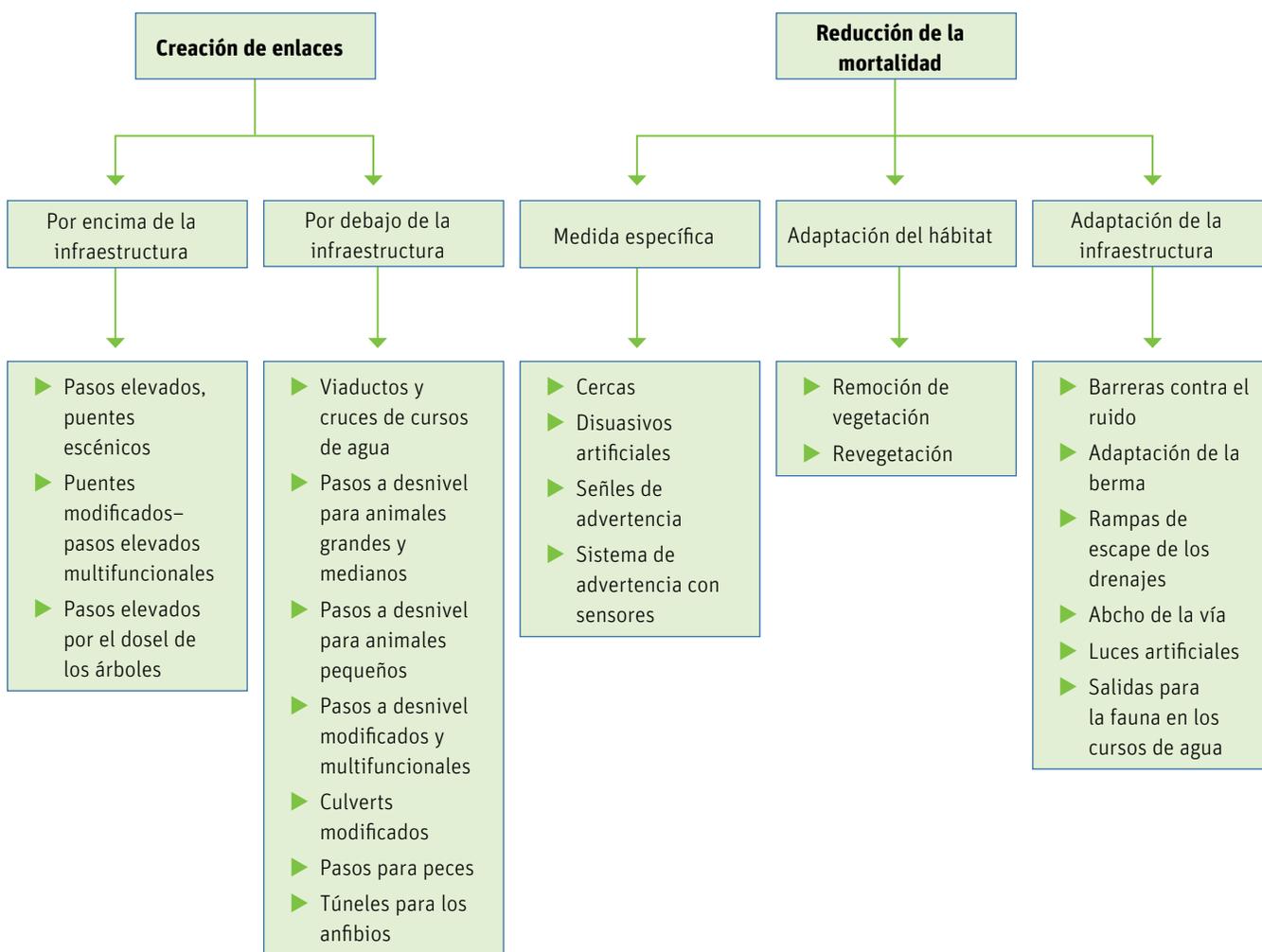
Soluciones de Ingeniería

Protección de la Fauna

La modificación de hábitats, incluso la fragmentación, es una de las principales causas de la degradación del medio ambiente, especialmente en las áreas sensibles. Se pueden tomar medidas para proporcionar vínculos directos entre hábitats fraccionados por la infraestructura vial, tales como estructuras para el cruce de la vida silvestre o pasos de fauna, junto con medidas dirigidas a mejorar la seguridad vial y a reducir el impacto del tráfico en las poblaciones de animales, para disminuir así la mortalidad relacionada con el tráfico. Impactos atenuantes pueden involucrar una combinación de estas medidas. Las cercas funcionan bien en combinación con pasos de fauna para compensar su efecto de barrera y dirigir la fauna hacia el paso (Iuell et al. 2003).

Dependiendo de la finalidad de la medida de la mitigación y la fauna presente en la zona, se pueden usar diferentes métodos pueden minimizar los efectos de las carreteras (ver la Figura 22). Sin embargo, cabe señalar que la inclusión de medidas de mitigación en un proyecto vial propuesto no significa automáticamente que todos los efectos se habrán mitigado y que el proyecto debe continuar. Por ejemplo, la probabilidad de que las estructuras de cruce permitan efectivamente la migración anual de cientos de miles de mamíferos en el Serengueti es extremadamente baja (van der Ree, Smith y Grilo 2015). Evitar pasar por zonas de no intervención es a menudo la mejor opción en las áreas sensibles.

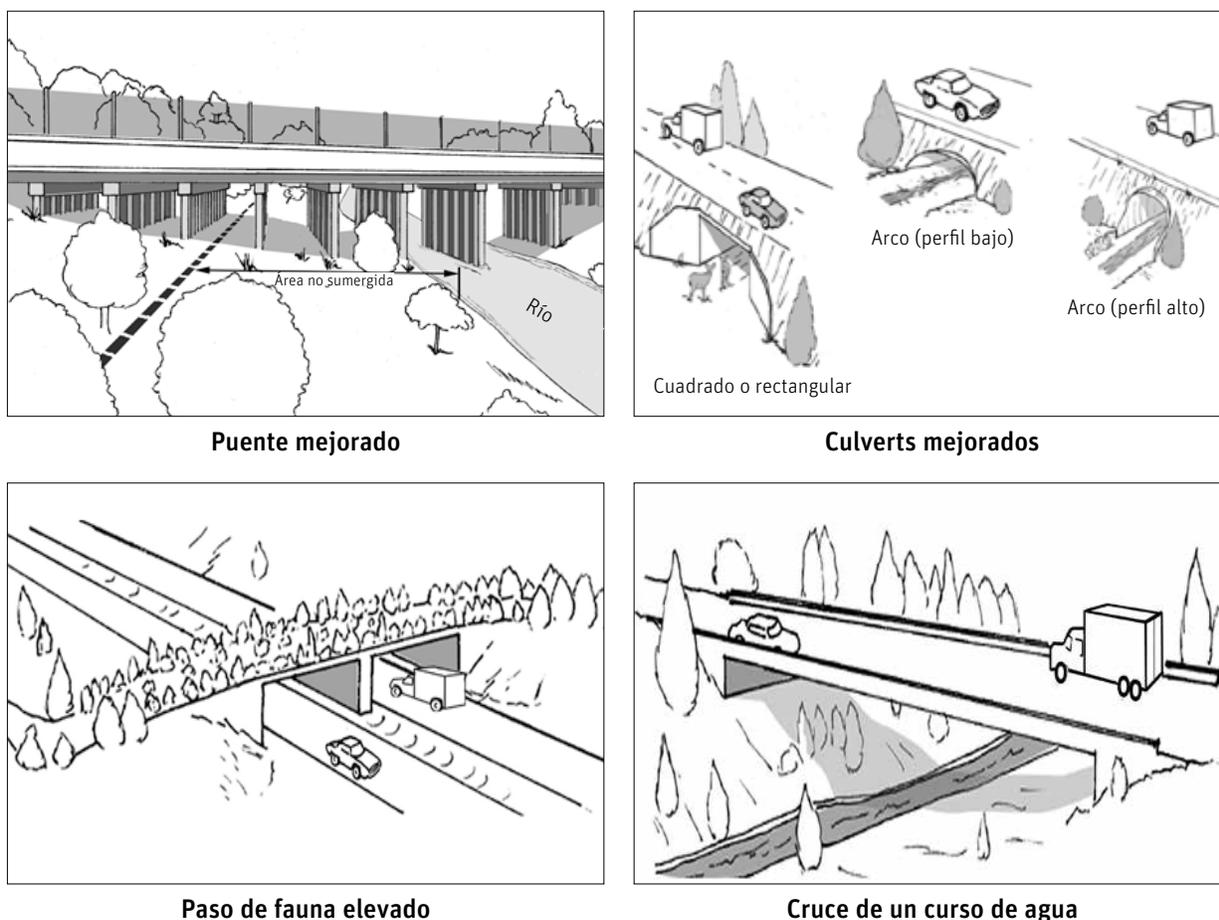
Figura 22. Medidas para mitigar los impactos sobre la vida silvestre



En los cruces importantes, se pueden utilizar túneles o puentes para la fauna para reducir las tasas de colisión, especialmente para las especies protegidas o en peligro de extinción. Se pueden utilizar culverts, puentes y túneles u otras estructuras hidráulicas para el cruce de la fauna (ver las Figuras 23 y 24). Por ejemplo, el uso de esquemas de túnel-viaducto-túnel en el Proyecto de la autopista Yiba en China minimiza los impactos sobre el movimiento de la fauna local. Los cruces de fauna específicos para cada especie pueden ser costosos y deben usarse solamente en unos pocos lugares en los cuales se justifican tanto por la importancia de la población animal como por la ruta de la vía. La imposición de límites de velocidad, así como el uso de medidas reducir la velocidad, como topes (speed bumps) – siempre que sea posible – pueden reducir las colisiones de vehículos con animales. La intención es reducir la velocidad vehicular para reducir al mínimo las muertes (Gleeson y Gleeson 2012).

Las estructuras de cruce tienen que construirse de tal manera que los animales sean capaces de usarlas. Deben existir hábitats adecuados para las especies en ambos lados de la estructura de cruce, tanto a escala local como del paisaje. A escala local, la cobertura vegetal debe estar presente cerca de las entradas para darles a los animales seguridad y para reducir los efectos negativos de la iluminación y el ruido. Tal como lo han señalado Clevenger y Waltho (2005), las estructuras de cruce sólo serán eficaces en la medida en que lo sean las estrategias para el manejo de la tierra y los recursos alrededor de ellas. Además, al menos una estructura debe construirse dentro del rango de hábitat de un individuo. Por ejemplo, como los reptiles, los pequeños mamíferos y los anfibios suelen tener rangos de hábitat pequeños, deben instalarse culverts a intervalos de unos 150 a 300 metros (Beier et al. 2008).

Figura 23. Esquemas de cruces de fauna – culverts y puentes mejorados



Fuente: Keller y Sherar 2003.

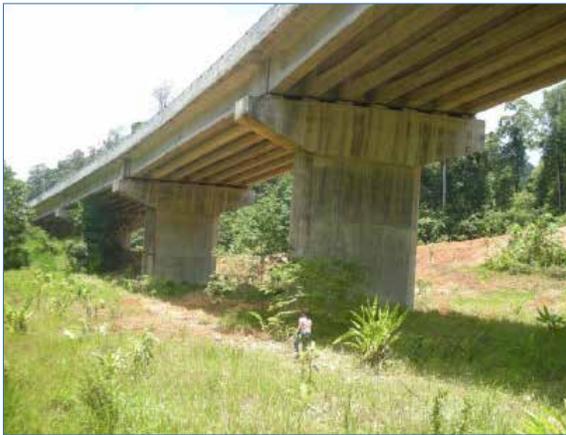
Figura 24. Estructuras amigables con la vida silvestre



Paso elevado para la vida silvestre de 50m, Canadá



Viaductos en áreas sensibles en la autopista Yiba, China



Puentes ecológicos desarrollados como parte de los corredores de la vida silvestre en Malasia



Los impactos sobre los impactos acuáticos por la construcción de carreteras se pueden minimizar aún más con el diseño apropiado de cruces de cursos de agua y de los culverts. En la Figura 25 se ilustra la manera correcta e incorrecta de instalar culverts cuando se cruzan quebradas.

Figura 25. Instalación apropiada de culverts para la conectividad acuática



Fragmentación de los sistemas acuáticos



Instalación apropiada de un culvert

Las señales que indican la presencia de fauna son un medio costo-efectivo de reducir las colisiones en las carreteras. Las señales sirven como una advertencia para el público en general y para los trabajadores durante la construcción y operación de una vía. Ellas alertan a las personas sobre la necesidad de reducir la velocidad al pasar por áreas de actividad de la vida silvestre. El diseño y la colocación de las señales pueden influir en el comportamiento. Las señales deben colocarse donde se puedan ver claramente y donde puedan dar a los automovilistas suficiente tiempo para reaccionar, sobre todo en las áreas donde se producen cruces de fauna. Entre los métodos para mejorar la eficacia de las señales de fauna se incluyen los siguientes (Gleeson y Gleeson 2012) (ver también La Figura 26):

- ▶ Añadir límites de velocidad.
- ▶ Añadir luces intermitentes.
- ▶ Utilizar fibra óptica para mostrar los límites de velocidad o luces intermitentes que puedan ser activadas por los animales.
- ▶ Colocar señales físicamente más grandes.
- ▶ Añadir material reflectante.
- ▶ Uso de señales portátiles en lugar de permanentes, de modo que puedan ubicarse en las épocas más relevantes, lo cual es muy beneficioso en sitios con animales migratorios estacionales.

Figura 26. Señales de fauna



Protección de la flora

La restauración de la vegetación se puede aplicar como parte de las medidas de estabilización de taludes, preferentemente con especies locales, lo que puede proporcionar refugios a los animales, y beneficios de paisajismo a la carretera (ver la Figura 27). Los proyectos viales financiados por el Banco Mundial en China incluyen extensas medidas de estabilización y paisajismo, lo que ha creado corredores verdes a lo largo del derecho de vía. La eficacia de las medidas para la protección de la flora y la fauna y sus costos relativos se presentan en la Tabla 14.

Figura 27. Estabilización de taludes, paisajismo, reforestación



Tabla 14. Comparación indicativa de medidas de mitigación para la protección de la flora y la fauna

Medida	Eficacia	Costos
Cerca viva de protección	Protección media; excelente integración dentro del paisaje	Bajos costos, requiere mantenimiento
Cerca artificial	Buena protección de animales y conductores pero puede inhibir los movimientos de los animales	Comparable a la cerca viva
Cruce elevado para la fauna	Muy eficaz donde se justifica	Costoso; lo mismo que un cruce elevado normal

Fuente: Tsunokawa y Hoban 1997.

Compensación por los impactos

A través de medidas de compensación, el proyecto vial puede compensar o incluso contribuir positivamente a la calidad ambiental. El objetivo es que la calidad total del medio ambiente dentro de un área no se debe reducir a causa de la construcción de una carretera. Las medidas de compensación pueden seguir uno de dos enfoques:

Nota: la compensación debe ser el último recurso después de que las opciones de evitar, minimizar, y restaurar se han agotado.

- ▶ Reemplazar una función en el mismo sitio de la función dañada. Por ejemplo:
 - Plantar árboles como sustitutos por aquellos que se talaron durante la construcción.
 - Rehabilitar y re-cultivar canteras de grava abandonadas en las inmediaciones del proyecto vial para compensar por otros impactos negativos sobre el medio ambiente.
 - Aumentar el humedal existente o mejorar la calidad de los humedales existentes si otros humedales se vieron afectados negativamente.
- ▶ Reemplazar funciones en otro lugar:
 - Plantar árboles en otros lugares si hay árboles que deban talarse durante la construcción.
 - Desarrollar zonas de servicio y parqueo para atraer turistas a ciertos lugares.
 - Crear conciencia sobre los lugares de interés cultural cercanos si el proyecto vial ha afectado a una zona de patrimonio cultural de manera significativa.

Tal vez la medida de compensación más común en los proyectos viales es la reforestación del derecho de vía o la reforestación de sitios específicos a lo largo de la carretera. Son también medidas de compensación la restauración ecológica de las zonas de préstamo y los sitios de disposición de desechos o botaderos. Por ejemplo, las canteras restauradas como humedales pueden convertirse en un hábitat ideal para las aves acuáticas en la zona. Los sitios de disposición restaurados con vegetación pueden alojar fauna local pequeña.

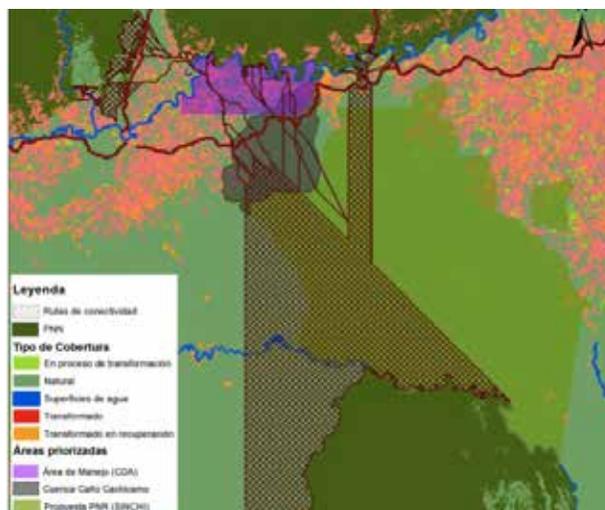
Las medidas de compensación deben proporcionar, como primera medida, un valor equivalente a lo que fue dañado en el mismo lugar, y segundo, proporcionar otro valor ambiental en otro lugar. Sin embargo, las medidas deben estar siempre conectadas con los impactos negativos que se identificaron. Además, las medidas deben diseñarse de tal manera que sea el afectado el que se beneficie de la compensación. Por lo tanto, la manera cómo se llevan a cabo las medidas de compensación depende de lo que se va a compensar, para quién, y el objetivo de dichas medidas.

En casos especiales, las medidas de compensación pueden incluir reservas compensatorias o el fortalecimiento de la protección de las ya existentes. Por ejemplo, el Proyecto de desarrollo vial de Honduras incluye el establecimiento de un sistema de fragmentos protegidos de bosques muy secos que albergan al colibrí hondureño y a otras especies sensibles. La variante Mocoa-San Francisco en Colombia incluye la ampliación de la reserva forestal y el establecimiento de un corredor de biodiversidad entre dos sistemas ecológicos del país (ver el Cuadro 15).

Es crítico contar con el presupuesto adecuado para el establecimiento de reservas compensatorias, el cual debe incluirse en los costos del proyecto. También es fundamental establecer el cronograma de implementación, así como el fortalecimiento de la capacidad local para llevar a cabo la implementación. El aspecto más importante de la compensación es garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las medidas de compensación. Los proyectos deben incluir estrategias para el financiamiento a largo plazo. Por ejemplo, en el Proyecto vial de Honduras, los pagos a los propietarios de tierras están limitados por la cantidad de fondos disponibles durante 10 años. Después de este tiempo, no hay garantía de que el esquema de área protegida será sostenible a menos que se identifiquen otras fuentes de financiamiento. Algunos proyectos de carreteras que atraviesan áreas protegidas asignan un porcentaje de los peajes al manejo de las áreas protegidas como una fuente de financiamiento sostenible.

Además, los impactos en los hábitats naturales pueden protegerse de los efectos de la fragmentación mediante la mejora de la conectividad entre los bosques, los parques nacionales o las áreas protegidas, lo que permite el movimiento de los animales. Debe detenerse la pérdida de hábitats, por lo que se requieren esfuerzos de restauración de hábitats, como la creación y/o la protección de corredores biológicos. Por ejemplo, el Proyecto La Macarena, que va desde Puerto Rico hasta San José del Guaviare, se encuentra en un área muy sensible ecológicamente, y la carretera podría interferir y perturbar la conectividad ecológica entre los parques nacionales La Macarena y Chiribiquete, interrumpiendo las conexiones entre los ecosistemas andinos y amazónicos. Por lo tanto, el proyecto planea proteger a un corredor ecológico entre los dos parques (ver la Figura 28).

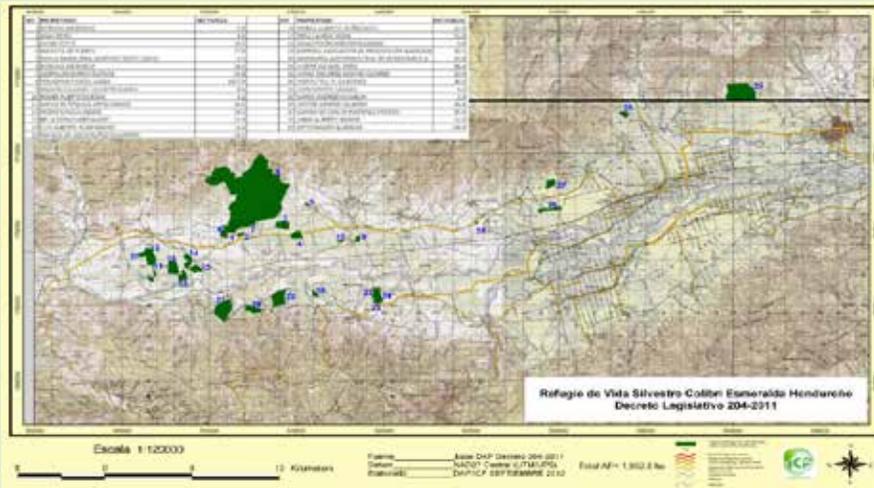
Figura 28. Restauración de la conectividad



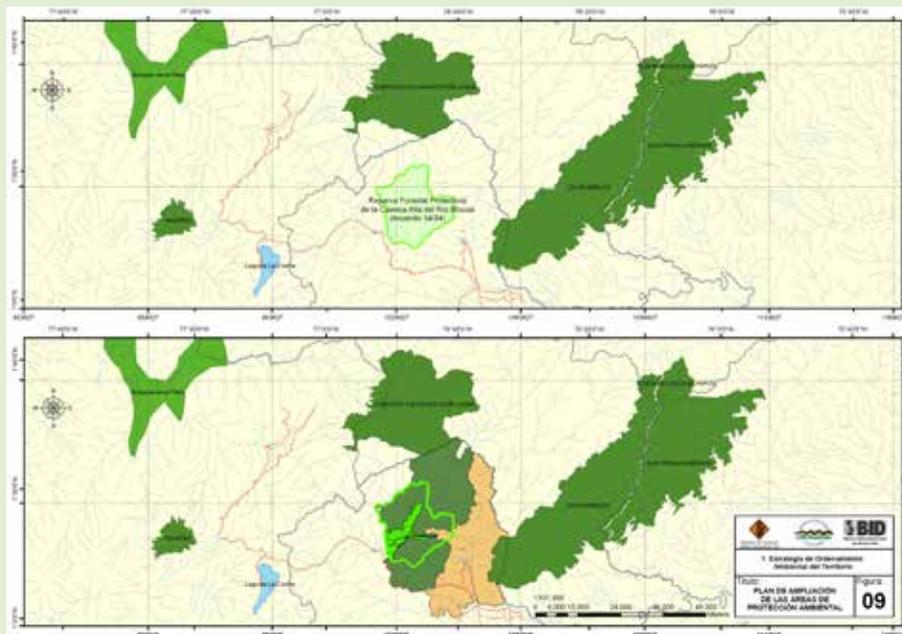
Fuente: De Puerto Rico a San José del Guaviare—Proyecto vial La Macarena

Cuadro 15. Reservas compensatorias en dos proyectos viales

El área de San Lorenzo-Olanchito es fundamental para la supervivencia del Colibrí Esmeralda hondureño, del Jamo Negro, un reptil amenazado críticamente, así como de al menos 12 especies de plantas endémicas, 9 de las cuales son exclusivas del valle del Aguán. El hábitat actual está altamente fragmentado, con parches de bosque seco aislados unos de otros. Las siguientes actividades son algunas de las medidas de compensación adoptadas por el Proyecto de desarrollo vial de Honduras: (i) la estricta protección de 419,9 hectáreas de bosque espinoso seco en una zona controlada por la Fuerza Aérea hondureña; (ii) la adquisición adicional de tierras privadas de estricta conservación para construir una red de áreas núcleo; (iii) el establecimiento de servidumbres de conservación para proteger las zonas que todavía están en manos privadas; y, (iv) la ampliación de los límites del parque nacional Pico Bonito.



La variante Mocoa-San Francisco en Colombia incluye la creación y consolidación de un gran corredor de conservación biológico con una superficie de 121.700 hectáreas, la expansión de la reserva forestal de 34.600 hectáreas a 65.289 hectáreas y la creación de una reserva forestal protegida-productiva (5.770 ha) en la región de la reserva para minimizar la pérdida de hábitats y establecer y mantener una mayor área protegida ecológicamente.



In diferentes proyectos viales se han implementado medidas de mitigación y compensación (*offset*) específicas para el sitio para proteger la biodiversidad y los ecosistemas (ver la Tabla 15).

Tabla 15. Ejemplos de proyectos viales que protegen la biodiversidad áreas sensibles

Medida	Proyecto	Descripción
Investigaciones de vías en áreas kársticas	The Hubei Yiba Highway project, China	Biodiversity surveys in caves along the ROW. Inventory of fauna, bats, and insects.
Investigaciones sobre la biodiversidad en zonas forestales y pastizales	Autopista Hubei Yiba, China; segunda autopista en Anhui, China	Se llevaron a cabo más de 300 transeptos de flora and fauna en esta autopista. Se elaboró la cartografía de la vegetación en un corredor de 500 metros.
Rescate de fauna y flora del derecho de vía	Variante Mocoa–San Francisco, Colombia	Se rescataron líquenes, orquídeas, nidos de pájaros, y pequeños mamíferos del derecho de vía antes de la iniciación de las labores constructivas. Se enviaron los especímenes a viveros, áreas protegidas, o a bancos de genes.
Herramienta de categorización para hábitats naturales críticos	Proyecto de caminos rurales PMGSY, India	Preparación de mapas sobre hábitats naturales críticos para cada estado participante. Definición y uso de áreas de no intervención como criterio para rechazar propuestas de proyectos viales. Medidas especiales para proyectos dentro o en cercanía a áreas protegidas.
Corredor de biodiversidad	Carretera La Macarena de Puerto Rico a San José del Guaviare	El proyecto apoyará el establecimiento de un corredor de biodiversidad entre dos grandes parques nacionales con base en un enfoque de manejo del paisaje.
Expansión del área protegida	Variante Mocoa–San Francisco, Colombia	El proyecto apoyará la expansión de una reserva forestal (duplicando su tamaño) para compensar por el cruce por el área protegida.
Reforestación de áreas degradadas	Segunda autopista en Anhui, China	Se reforestaron los sitios de disposición o botaderos a lo largo de la autopista, los cuales son parte del programa de paisajismo
Reforestación del derecho de vía	Autopista Hubei Yiba, China; segunda autopista en Anhui, China	Reforestación del derecho de vía como parte del programa de paisajismo.
Restauración de canteras, zonas de préstamo, y botaderos a hábitats naturales	Vía de acceso a la represa del Proyecto hidroeléctrico Nam Theun 2	La zona de préstamo se convirtió en un humedal.
Creación de una nueva área protegida	Rehabilitación y mejoramiento vial II, Honduras; Variante Mocoa–San Francisco, Colombia	Protección de 2.200 hectáreas de hábitat de bosque seco fragmentado como condición para acceder a un préstamo. Facilidad de pago a los propietarios.
Derecho de vía como un corredor de biodiversidad	Mejoramiento de la carretera Argentina Santa Fe	Reforestación del derecho de vía entre dos humedales para crear un corredor de biodiversidad al conectar dos humedales. La reforestación de este segmento es parte del programa de paisajismo para toda la carretera.
Viaductos como cruces de fauna	Proyecto autopista Hubei Yiba, China	La autopista Yiba Highway pasa por el parque geológico Tres Gargantas, un área de hábitats naturales altamente sensibles. Se implementó el esquema túnel-viaducto.
Culvert mejorado para el cruce de fauna/conectividad acuática	Vías forestales, servicio forestal de Estados Unidos	Ubicación correcta de drenajes/culverts permite la conectividad de los ecosistemas acuáticos.
Múltiples Culverts en humedales	Proyecto del sector vial, Belice	Múltiples culverts permiten la conectividad hidráulica entre los dos lados de la vía. Se evitó la construcción de un terraplén que hubiera actuado como una presa. Se necesita un mayor mantenimiento para este segmento.
Especificaciones ambientales para los contratistas	Proyecto autopista Hubei Yiba, China; autopista Da Nang–Quang Ngai, Vietnam; Mejoramiento de la vía Santa Fe, Argentina	Las especificaciones ambientales para los contratistas incluye un código de conducta que establece penalidades para la caza o captura ilegales, tala ilegal, restricciones específicas, medidas para la fauna y flora, entrenamiento ambiental/sensibilidad ecológica.
Medidas especiales en áreas protegidas/sensibles	Autopista Hubei Yiba	Medidas especiales para la protección de cavernas o cuevas kársticas cerca del derecho de vía durante la construcción; restricciones a los trabajadores; demarcación y cercamiento de cavernas; monitoreo durante la construcción.

Fuente: JICA 2013.



Capítulo 6

Tecnologías innovadoras para carreteras

Como complemento a las buenas prácticas descritas en los capítulos anteriores, el uso de tecnologías inteligentes e innovadoras pueden minimizar los impactos ambientales derivados de los equipos y productos para la construcción de una carretera. Los beneficios de los nuevos productos y tecnologías incluyen menores emisiones y contaminación, el uso de menos energía, y la minimización de la cantidad de residuos generados. Los productos como agregados derivados de llantas y el concreto asfáltico con caucho hecho de llantas de desecho, minimiza el uso de recursos naturales y los residuos que van a los rellenos sanitarios. Otros, como los sistemas de control de la nivelación mejoran la productividad y la seguridad de los trabajadores.

En este Capítulo se presentan algunas de las últimas tecnologías innovadoras y productos disponibles. También se describen las herramientas en línea para la predicción de impactos que pueden ayudar en las decisiones de planificación y en la categorización ambiental. Aunque estos productos y tecnologías mejoran y cambian con el tiempo en la medida en que se desarrollan nuevos productos y tecnologías, el objetivo de este Capítulo es informar a los profesionales de las últimas tecnologías disponibles en la actualidad. Aunque la lista no es de ninguna manera exhaustiva, los últimos avances en tecnologías y herramientas para la construcción de carreteras presentados aquí pueden contribuir a mejorar las carreteras y su sostenibilidad general⁴.

Equipos para la construcción de carreteras

Nuevas tecnologías para el mezclado y la compactación

Las nuevas tecnologías han permitido que se reduzca la temperatura del asfalto. Esto permite tecnologías de compactación más rápida. Normalmente, el asfalto caliente se entrega en el sitio de construcción de la obra en camiones, y una máquina de pavimentación pone el material en el suelo ya preparado. Luego los compactadores producen capas consolidadas y durables. Las nuevas tecnologías y equipos de compactación permiten al operador de un rodillo elegir el modo óptimo de vibración en el sitio de las obras. Se obtiene así una compactación muy rápida, y el nivel de compactación se mide constantemente, lo que evita una compactación excesiva. La compactación inteligente, con una medición de alta tecnología y con equipos de control, permite la aplicación más amplia de asfalto de baja temperatura.

Las máquinas compactadoras se pueden controlar mediante la tecnología GPS. La aparición en los tableros electrónicos de la posición actual de las máquinas, del trabajo de compactación realizado, y de los lugares donde es necesaria una compactación adicional, permite a los conductores y coordinadores de la construcción planificar el uso de sus máquinas. Ahora es posible realizar la compactación dentro de un intervalo de tiempo más estrecho. La combinación de los modos de compactación inteligente, la tecnología de posicionamiento, y los tableros electrónicos de las máquinas permiten que se apliquen los nuevos asfaltos de baja temperatura en la construcción de carreteras.

Beneficios ambientales: Actualmente se puede obtener un ahorro de energía debido a las temperaturas del proceso más bajas. El consumo de energía de la máquina también es menor.

⁴ La información para este capítulo se ha tomado de la publicación de la Federación Internacional de Carreteras (*International Road Federation*) sobre carreteras verdes y de la información presentada por la compañía de infraestructura ACCIONA, por DOW, y por Caterpillar. Se presenta aquí una descripción genérica de las tecnologías ya que en esta Guía no se está promoviendo ninguno de los productos, sino simplemente presentando una lista de los últimos avances tecnológicos. Por lo tanto, algunos de los beneficios no se aplican a todos los modelos o productos disponibles en el mercado. Se recomienda que se obtengan datos específicos para cada tecnología o producto.

Cargadores sobre ruedas

Los cargadores sobre ruedas son equipos pesados utilizados en la construcción para mover a un lado o cargar materiales como asfalto, escombros de demoliciones, basura, nieve, grava, troncos, minerales en bruto, material reciclado, rocas, arena y virutas de madera en otro tipo de maquinaria (como un camión de la basura, una cinta transportadora, una tolva de alimentación, o un vagón de ferrocarril). Cuentan con una amplia cubeta cuadrada frontal conectada al extremo de dos brazos para recoger el material suelto del suelo y trasladarlo de un lugar a otro sin empujarlo por el suelo. Los cargadores se utilizan comúnmente para mover el material almacenado desde el nivel del suelo y depositarlo en un camión de la basura o en una excavación a zanja abierta. Un sistema de propulsión avanzada combina los beneficios de los diferentes tipos de transmisiones (por ejemplo, planetaria, de eje secundario, o hidrostática), lo que simplifica la interface del operador y su operación técnica. El uso de una bomba y un motor hidráulicos (unidad de variador) permite un cambio de transmisión suave y continuo entre la velocidad del motor y la velocidad de la máquina. El variador ofrece este radio de flexibilidad al tiempo que reduce en gran medida la carga de calor generada por el tren de transmisión cuando la máquina está excavando, empujando, o subiéndose cargas pesadas.

Beneficios ambientales: Un combustible más eficiente significa que menos combustible se consume, lo que se traduce en menores emisiones y menor consumo de recursos naturales. Las máquinas están construidas con un promedio de 96% de tasa de reciclado (ISO 16714) para conservar los valiosos recursos naturales y mejorar aún más el valor final de la vida útil de la máquina. La eficiencia del operador se mejora mediante una mayor visibilidad y niveles reducidos de ruido y vibraciones. Los componentes principales son reparables, lo que elimina los residuos y ahorra dinero, dando a la máquina y a sus componentes principales una segunda e incluso una tercera vida. Hay numerosas características en los cargadores que permiten operaciones amigables con el medio ambiente como el apagado automático; drenajes ecológicos para el motor, la transmisión y las partes hidráulicas; y válvulas de muestreo de aceite. Sobre los equipos que cumplen con los estándares de emisiones de la Unión Europea, fase IV (EU Stage IV), el sistema de reducción de NOx de la Cat captura y enfría una pequeña cantidad de gas del tubo de escape y luego lo dirige de nuevo a la cámara de combustión, donde baja las temperaturas de combustión y reduce las emisiones de NOx⁵.

Excavadoras hidráulicas e híbridas

Las excavadoras son equipos pesados de la construcción que consisten de un brazo, un balancín, una pala o cuchara, y una cabina sobre una plataforma giratoria. La máquina está colocada encima de un chasis con orugas o ruedas. Todos los movimientos y funciones de una excavadora hidráulica se llevan a cabo mediante el uso de fluido hidráulico, con motores y cilindros hidráulicos. Las excavadoras se utilizan para: la excavación de trincheras, agujeros, y fundaciones; paisajismo y nivelación; demoliciones, minería, dragado de ríos, manejo de materiales, desbroce con accesorios hidráulicos; trabajos forestales como coberturas orgánicas (mulching); y muchas otras aplicaciones. Las excavadoras hidráulicas modernas vienen en una amplia variedad de tamaños: por ejemplo, la mini-excavadora más pequeña pesa aproximadamente 935 kg, mientras que la excavadora más grande pesa unos 92.000 kg. Los motores de las excavadoras hidráulicas por lo general sólo funcionan con bombas hidráulicas. Por lo general hay tres bombas: las dos principales suministran aceite a alta presión para los brazos, el motor giratorio, los motores de los rieles, y los accesorios, mientras que la tercera es una bomba de baja presión para el control del piloto. Este circuito se utiliza para el control de las válvulas, que permiten un esfuerzo reducido al operar los controles.

Beneficios ambientales: La transferencia de potencia básica de una excavadora hidráulica es a través de la hidráulica, una tecnología sin igual en lo que respecta a la transferencia de densidad de potencia. El almacenamiento del acumulador hidráulico es eficiente, simple, durable, y económico. Está diseñado para ciclos de potencia rápidos típicos de las excavadoras. Algunos sistemas híbridos incorporan innovaciones hidráulicas para mejorar la eficiencia en el sitio de trabajo a través de bajos costos de inversión y operación, excelente rendimiento, alta versatilidad, y, lo más importante, una reducción de combustible de hasta el 25%. El concepto básicamente es capturar y retener energía para ser reutilizada y así ahorrar combustible. El sistema híbrido hidráulico es una solución simple, fiable y costo-efectiva que puede ayudar al cliente a reducir significativamente los costos por tonelada, con un ahorro de hasta 25% de combustible que los excavadores tradicionales.

⁵ Los beneficios ambientales se aplican a un modelo específico de cargadores solamente

Tractor inteligente

Ya se encuentra en el mercado un nuevo tractor de tracción (*bulldozer*) con accionamiento eléctrico que aumenta la eficiencia de explanación en un 25% (metros cúbicos / litros) y reduce los costos operativos en un 10%. Este sistema de propulsión integrada reduce el consumo de combustible entre 10% a 30% y utiliza menos piezas y fluidos durante su vida útil. La característica de diseño más importante es un tren de transmisión de corriente alterna, que sustituye a la transmisión con cambios de potencia que se utiliza normalmente en este tamaño de tractores de tracción. Cuenta con un diseño sin correa. Los sistemas accesorios, como el aire acondicionado y la bomba de agua, son alimentados eléctricamente así que no hay necesidad de reparar, ajustar o sustituir las correas del motor. El sistema de control utiliza señales láser o GPS para ayudar al operador a mover el material de una manera eficiente y para lograr la nivelación.



Beneficios ambientales: Estos tractores tienen menores emisiones gaseosas como el CO₂. El sistema de control permite una mejora del 30% en el tiempo necesario para completar un trabajo, debido a que mueven el material de manera eficiente.

“Product Link”

Los sistemas de manejo de la flota pueden ayudar a los contratistas a optimizar el rendimiento de esta y reducir el consumo del combustible y las emisiones. Esto permite tener informes personalizados y mejorar la cartografía y las capacidades de las flotas mixtas. La información se puede transmitir por teléfono celular o por satélite. Se puede obtener información oportuna y precisa sobre la ubicación, uso y estado de los equipos.

Sistemas de control de la nivelación

Los procesos actuales de movimientos de tierras y de nivelación fina requieren mano de obra intensiva y son dependientes de trabajadores e instrumentos. El mantenimiento de una nivelación consistente entre estacas es un reto, incluso para los operadores experimentados. Las tecnologías que utilizan GPS reducen los requisitos de mano de obra y ayudan a los operadores a trabajar según el plan de diseño, cortando y rellenando con precisión, y reduciendo los costos de materiales. Esta tecnología de sistemas de control es la mejor solución cuando la obra implica contornos en lugar de uno o dos planos de pendientes.

Las soluciones avanzadas con la tecnología GPS mueven el plan de diseño a la cabina para un mejor control del operador, una mayor precisión y productividad, y menores costos de operación. El sistema es una máquina de alta tecnología de guía y control que permite a los operadores de los bulldozers nivelar con mayor precisión, sin la necesidad de estacas para el levantamiento topográfico (ver el Cuadro 16). Los datos digitales de diseño, las funciones de orientación del operador en la cabina, y los controles automáticos de la cuchilla ayudan al operador a alcanzar la nivelación más rápidamente, lo que significa una mayor productividad, menores costos de operación, mayor rentabilidad y menor consumo de combustible. Los beneficios incluyen:

- ▶ Aumento de la productividad y la eficiencia y minimización del impacto ambiental: Esto aumenta la productividad hasta en un 50%. Reduce las conjeturas y la costosa reelaboración ya que permite mover desperdicios adecuadamente la primera vez. Reduce los costos de los levantamientos topográficos hasta en un 90%. Aumenta la utilización del material y reduce los costos de operación. El sistema extiende la jornada de trabajo y reduce el consumo innecesario de combustible.
- ▶ Mejora de la satisfacción y permanencia de los empleados: Los tableros traen el diseño a la cabina y le dan al operador una mayor responsabilidad. Se faculta al operador con resultados en tiempo real. La información en tiempo real sobre el progreso aumenta la satisfacción laboral, elimina las conjeturas, y reduce el estrés del operador. Mejora las habilidades del operador y lleva el rendimiento al siguiente nivel.
- ▶ Resolución de las preocupaciones sobre la seguridad: Los sistemas de control de la nivelación alejan a los encargados de colocar e inspeccionar las estacas del lugar de trabajo y lejos de la maquinaria pesada. El bloqueo de seguridad garantiza que la cuchilla esté bien cerrada cuando el sistema está inactivo.

Cuadro 16. Aumento de la eficiencia mediante el uso de tecnologías innovadoras

Como parte de los esfuerzos del Distrito de Administración del agua del Sur de la Florida para limpiar el embalse (Lago Okeechobee) que suministra a los Everglades y a 8,1 millones de residentes de la Florida con agua dulce, se requirió el trabajo de estabilización de taludes en un canal. Los años de uso y el daño infligido en 2005 por el huracán Wilma habían erosionado terriblemente las márgenes del canal de 60 años de edad. El sitio de las obras era remoto, parcialmente sumergido, y el hogar de cientos de caimanes

Los esfuerzos previos para estabilizar las márgenes del canal consistieron en tratar de restablecer la forma original de la vía fluvial mediante el relleno de los taludes erosionados. Pero el enfoque resultó controversial, ya que requirió colocar la suciedad en el agua del canal, lo que agravó la turbiedad que los funcionarios trataban de eliminar. En lugar de tratar de restaurar los contornos originales del canal, se decidió reconformar el canal para adaptarlo a su condición erosionada, para hacerlo más amplio y más útil durante las inundaciones.

Debido a que los operadores de las excavadoras hidráulicas que hacían el trabajo de reconformación necesitaban ser capaces de navegar bajo el agua, se utilizaron tecnologías innovadoras, como la maquinaria que utiliza los sistemas de control de la nivelación. Esto permitió a los operadores de las excavadoras mantener una nivelación de acuerdo con las especificaciones, incluso cuando estaban trabajando por debajo del nivel del agua y no podían ver lo que estaban haciendo. La combinación de los datos digitales de diseño, las características de orientación de la cabina del operador, el control automático de la cubeta, y la tecnología GPS, permitieron que el trabajo se terminara antes de lo previsto. Además, "Product Link" ayudó a ahorrar tiempo, ya que cualquier problema con la maquinaria se identificó fácilmente, lo que permitió que el mantenimiento se llevara a cabo rápidamente

Fuente: Caterpillar sin fecha.

Productos y materiales para la construcción de carreteras

Lámina reflectante "Diamond Grade DG"

Se utiliza un proceso de fabricación de micro-prismas con polímeros de mayor peso molecular. No se requieren disolventes, a diferencia de los procesos de láminas reflectantes tradicionales que se basan en un proceso de revestimiento de múltiples capas hechas con polímeros de menor peso molecular. Los polímeros de alto peso molecular proporcionan una mejor resistencia a los rayos ultravioletas (UV) y una película retro-reflectante resistente a la intemperie. Esto se traduce en señales de tráfico con un ciclo de vida eficaz más largo. Además, gracias a esta lámina las señales luminosas se pueden reemplazar sin ningún impacto negativo en el comportamiento del conductor. La sustitución de señales luminosas por señales retro-reflectantes de alto rendimiento permite a las autoridades reducir los costos de inversión y mantenimiento, así como el consumo de energía.



Beneficios ambientales: en la fabricación de la lámina retro-reflectante micro-prismática se utiliza un proceso innovador que minimiza el impacto ambiental. Reduce las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) hasta 97%, consume 77% menos de energía, y genera 46% menos de residuos sólidos en comparación con el proceso de fabricación tradicional de láminas moldeadas reflectantes.

Productos para la marcación vial

Se utilizan indicadores para evaluar los impactos ambientales y sobre la salud de un producto durante su ciclo de vida. Se analizan las emisiones de gases de efecto invernadero, las emisiones de COV, la eutrofización del ecosistema acuático (asfixia de la fauna acuática), el consumo de energía, la toxicidad potencial y la generación de residuos. Existen una serie de productos, tales como pinturas, marcadores de línea sin aire, y aerosoles. También hay tecnologías de marcación vial a base de agua.

Beneficios ambientales: Algunos marcadores de líneas sin aire y los aerosoles están hechos de resinas de pino, aceites vegetales, y conchas de ostras molidas. Estos reemplazan la cal de las canteras, eliminando la necesidad de extracción y transporte de gran parte de la materia prima. La tecnología de señalización de carreteras a base de agua tiene una gran afinidad con esferas de vidrio lo que mejora la retro-reflectividad y es resistente a la intemperie. Los beneficios incluyen la reducción de las emisiones de COV, de los residuos sólidos y del uso del agua, de la demanda química de oxígeno, del consumo de energía primaria, y de la toxicidad humana (Mantilla 2015).

Técnicas y productos reciclados

Existen actualmente productos reciclados que son silenciosos, naturales, y de baja temperatura. Estos incluyen superficies de rodaduras reductoras del ruido, aglutinantes de origen vegetal hechos de productos vegetales renovables como sustitutos del bitumen, fundentes que contienen materias primas de origen vegetal, y mezclas asfálticas (ambientalmente amigables y energéticamente eficientes) fabricadas a temperaturas más bajas que las mezclas convencionales.

Beneficios ambientales: Las superficies reductoras del ruido pueden garantizar una disminución del ruido del tráfico de unos 9 decibles en comparación con mezclas convencionales, lo que divide la potencia del ruido por 8. Los aglutinantes de origen vegetal pueden servir como sumideros de carbono y permitir la producción de mezclas de asfalto a temperaturas que son 40° C más bajas que las de las mezclas convencionales. Los fundentes no emiten COV, y las mezclas de asfalto ambientalmente amigables ahorran de 10% a 20% de la energía y reducen las emisiones de gases de efecto invernadero de 15% a 25%.

Químicos sostenibles para la construcción

Membranas para el curado y selladores especiales: Estos se aplican al hormigón o concreto fresco (por lo general dentro de dos horas) para retener el agua y para hidratar el cemento Portland en ciertas situaciones. Las membranas para el curado desaparecen después de 28 días de servicio. También ofrecen ventajas de rendimiento, tales como la resistencia a los rayos UV y resistencia al agua. Los selladores se aplican típicamente al hormigón totalmente curado. Ellos proporcionan brillo, resistencia a las manchas, y a los rayos UV a largo plazo, y resistencia al agua y al manchado por llantas calientes.

Inyecciones y morteros de reparación: Estos son adhesivos que se utilizan para adherir segmentos de concreto y también para reparar estructuras de concreto viejas o nuevas. Algunas soluciones proporcionan una mayor elasticidad y reducen la fragilidad en comparación con las alternativas convencionales, ofreciendo una mejor compresión, flexión y resistencia a la tracción.

Súper plastificantes: Estos son reductores de agua de alto rango. Son aditivos químicos usados para mejorar las características de flujo, lo que permite la reducción de la proporción de agua a cemento, sin afectar la maleabilidad de la mezcla. La resistencia del concreto aumenta cuando la relación agua-cemento disminuye.

Materiales sostenibles para la construcción

Para el control del polvo: Se ha desarrollado un aditivo que aglomera las partículas, haciéndolas más pesadas y reduciendo la dispersión en el aire, lo que genera menos polvo. Esto conduce a una mejor calidad del aire en el sitio de las obras, a menos desperdicio de material (ahorro de 0,5 a 1% de cemento), y un lugar de trabajo más limpio, lo que puede conducir a la certificación LEED o “Liderazgo en energía y diseño ambiental” (Leadership in Energy & Environmental Design, LEED).



Xact: Este es un éter de celulosa con propiedades de morteros optimizados de alto rendimiento, que mejora las propiedades mecánicas del cemento y optimiza su uso.

Morteros (Renders): El uso de éteres de celulosa especiales, y los nuevos métodos de aplicación de morteros conducen a una mejor calidad de la construcción, menos desperdicio de material, costos logísticos menores, y emisiones de CO2 más bajas que el mortero manual tradicional.

Morteros poliméricos: Este es un nuevo método de aplicación de morteros gracias al uso de emulsiones acrílicas. No se requiere cemento. Conduce a una mejor calidad de la construcción, costos logísticos más bajos, y emisiones de CO2 más bajas que el mortero manual tradicional.

Impermeabilización: La impermeabilización es una fase importante del proceso de construcción, ya que garantiza que no habrá filtraciones de agua y por lo tanto le da una larga vida a la construcción. También previene patologías y costos de renovación. Se ha desarrollado una emulsión sostenible para las membranas impermeabilizantes de cemento de dos componentes. Esta emulsión mantiene todas las propiedades mecánicas y la compatibilidad del cemento, está libre de formaldehído y amoníaco, y tiene emisiones de COV más bajas.

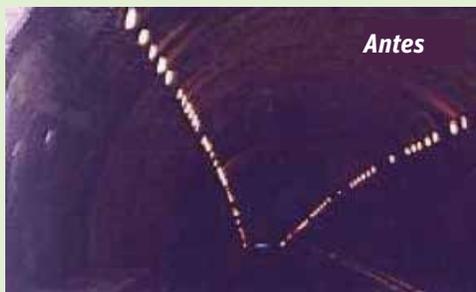
Techos fríos: El revestimiento de techo elastomérico refleja el calor del sol y evita que este sea absorbido por los techos. Este producto reduce el uso de energía, evita el efecto de isla de calor, tiene propiedades de resistencia al agua que evitan la formación de moho, y requiere menos mantenimiento. Este revestimiento se puede aplicar en las carreteras para mantenerlas más frescas en climas cálidos.

Sellador de techo frío: Existen selladores a base de agua y listos para ser usados que mejoran la protección y la durabilidad de los diferentes sustratos (concreto, fibrocemento, cerámica). Debido a que el sellador es a base de agua, tiene bajas emisiones de COV. Tiene características hidrofóbicas, es resistente a los UV, a la intemperie y a la formación de moho, y mejora la durabilidad de las superficies.

Poliurea: Los revestimientos de protección con poliurea son soluciones eficaces para: la contención primaria y secundaria, el revestimiento resistente a productos químicos, la resistencia o protección contra la corrosión, la impermeabilización, la resistencia a la abrasión, los recubrimientos de suelos antideslizantes, los revestimientos con aerosoles, la mejora estructural y la decoración. En la construcción de carreteras y puentes, la poliurea resulta útil en la impermeabilización y en la prevención de la corrosión (ver el Cuadro 17). Los revestimientos de poliurea contienen cero COV o disolventes y no son tóxicos. Ellos son capaces de soportar la expansión y contracción del sustrato causada por los severos ciclos climáticos anuales, reducen los costos de mantenimiento y tiempos de inactividad, y se pueden aplicar en una amplia gama de temperaturas.

Cuadro 17. Prolongación de la duración del concreto con poliurea

Cuando se estaba renovando un antiguo túnel para restaurar el concreto dañado y solucionar los problemas del agua, se observó que los revestimientos anteriores se habían comenzado a agrietar y a descamar después de un corto tiempo. Durante las renovaciones, todo el túnel fue limpiado con chorros de arena para eliminar los viejos revestimientos, lavado con agua a alta presión, e imprimado. A continuación se aplicó Poliurea con un grosor de 50 mils (1 mil = 25 micrones). Esta nueva capa protectora ha preservado el concreto y se puede limpiar fácilmente con un lavado de alta presión, lo que reduce los costes de mantenimiento. Incluso después de 12 años, no se han requerido reparaciones adicionales.



Asfalto modificado con llantas pulverizadas

Las llantas de desecho finamente molidas (polvo de caucho) se añaden al asfalto para producir un sellante de grietas. Esto ayuda a producir un pavimento más silencioso (ver el Cuadro 18). Las superficies lisas, son más silenciosas que las superficies rugosas; las porosas más silenciosas que las no porosas; y las elásticas son más silenciosas que las no elásticas.

Beneficios ambientales: Se ha demostrado en numerosos estudios que los aglutinantes asfálticos modificados con polvo de caucho soportan mayores temperaturas sin deformarse. Además, ayudan en la reducción del ruido.

Cuadro 18. Sostenibilidad en la construcción de carreteras en concreto

A partir de 2007-2008, se rehabilitó una parte de la vía E34, cerca de Amberes, Bélgica, con un pavimento de concreto reforzado continuo de doble capa. Durante la renovación, se decidió aplicar concreto de dos capas con agregados reciclados en la capa inferior. La técnica de doble capa de pavimento de concreto o de dos niveles consiste en dividir el pavimento de concreto en una capa inferior de aproximadamente el 80% del espesor total de diseño y una capa en la parte superior de aproximadamente el 20% del espesor total. La capa superior más delgada hace que sea económicamente justificable utilizar piedras más finas y duras, pero también más caras.

Beneficios ambientales: En términos del ruido de rodaje, se logró una reducción de más de 3 decibeles con la técnica de la pavimentación de dos capas o niveles, en comparación con el de una sola capa tradicional de concreto con agregado expuesto con un tamaño máximo de agregado de 20 milímetros.



Productos para cemento asfáltico

Uno de los principales problemas en las carreteras pavimentadas es la filtración de agua a través del pavimento. Cuando el agua se filtra en el pavimento y migra entre la interface de asfalto-agregado (a través de diversos mecanismos), causa con el tiempo cargas negativas tanto en la superficie de agregados como en el asfalto. Esto conduce al agrietamiento del pavimento.

Las etilenaminas, se utilizan para producir diferentes aditivos contra el desgaste como las amidoaminas (que funcionan como emulsiones que mejoran la adherencia del agregado asfáltico mediante la reducción de la tensión superficial); las imidazolininas (que mejoran la adhesión del agregado, particularmente bajo condiciones de humedad; proporcionan una mayor estabilidad de la temperatura); y aminas grasas (muy eficaces como agentes de adhesión para el bitumen; relativamente inestable a altas temperaturas). Estos productos se orientan de tal manera que la cadena del hidrocarburo orgánico se retiene en el bitumen, mientras que el grupo amina se mantiene en la superficie o en la interface del agregado bituminoso. El efecto neto es que las largas cadenas de hidrocarburos actúan como un puente entre el bitumen y el agregado, asegurando así una unión fuerte.

Beneficios ambientales: Las aminas reducen la cantidad de combustible utilizado para aplicar el asfalto (mezcla en frío), reducen las emisiones de CO² debido a la mejor calidad del asfalto, y aumentan el ciclo de vida del asfalto.

La amina y sus derivados para la producción de cemento y concreto

La producción mundial de cemento actualmente asciende a aproximadamente 1,6 millones de toneladas/año, y el proceso de triturado consume casi el 2% de la electricidad producida en el mundo. La etapa de trituración del Clinker consume alrededor de un tercio de la energía requerida para producir 1 tonelada de cemento y produce 9,1 kg de CO₂ por tonelada. Además, aproximadamente el 60-70% de toda la energía eléctrica utilizada en una planta de cemento se utiliza para la trituración de las materias primas, el carbón y el Clinker. Como resultado, una pequeña ganancia en eficiencia durante el triturado no sólo puede tener un gran impacto en el costo de operación de una planta, pero también puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Aproximadamente el 95% de la alimentación al circuito de triturado del cemento es Clinker, y el resto de la alimentación son “aditivos”, que incluyen ayudas para el triturado. Aunque el objetivo principal de las ayudas para el triturado

es reducir la aglomeración de las partículas de cemento, su uso también ayuda a las propiedades mecánicas del cemento (aumenta la resistencia a la compresión).

La trietanolamina, una etanolamina terciaria, tiene la capacidad de quelar con ciertos iones metálicos tales como el Fe^{3+} en medios altamente alcalinos. La trisopropanolamina es una isopropanolamina terciaria utilizada principalmente como un coadyuvante de la trituración, y también se usa en mezclas de hormigón. La adición de pequeñas cantidades de estos productos mejora la tasa de las reacciones de hidratación, lo que conduce a una configuración más rápida y mejores resistencias a la compresión.

Beneficios ambientales: Se encuentran disponibles diferentes grados de trietanolaminas. Estos productos recubren de forma efectiva las partículas de cemento para evitar la aglomeración y aumentan la resistencia a la compresión temprana. La adición de las aminas puede ayudar a aumentar los niveles de cenizas volátiles, la escoria, y la piedra caliza triturada mientras que mantiene una excelente resistencia a la compresión. Puede reducir los costos de las materias primas y hacer buen uso de los materiales de desecho. Este último punto puede ser especialmente ventajoso cuando existen incentivos ambientales y regulatorios para reciclar las cenizas volantes y la escoria.

Pavimentos asfálticos de energía térmica, “Road Energy Systems” (RES®)

Los pavimentos asfálticos pueden calentarse hasta 70 grados centígrados durante la radiación solar. Dada la enorme área de pavimento asfáltico que está disponible, el potencial de energía térmica, por tanto, parece infinito. Este calor puede utilizarse de diferentes maneras. Se han desarrollado diversos diseños para extraer calor de un pavimento asfáltico. La mayoría aplica un diseño de intercambiador de calor mediante la incorporación de tubos en el pavimento de asfalto. Este tipo de pavimento asfáltico se conoce en los Países Bajos como “asfalto colector”. La demanda viene de los edificios; el suministro, del pavimento asfáltico. El uso de un acuífero, cubre en gran medida, la diferencia en el tiempo entre la oferta y la demanda estacional.

Beneficios ambientales: El uso de un “asfalto colector” ayuda a mantener el pavimento. En verano, la temperatura máxima del pavimento de asfalto se puede reducir de manera que se mitiga la probabilidad de deformación permanente. En invierno es posible evitar carreteras resbaladizas mediante el aumento de la temperatura mínima del pavimento. El resultado es un pavimento libre de nieve que no requiere de sal u otros contaminantes peligrosos para el medio ambiente. Por lo tanto, las ganancias ambientales con RES® incluyen un menor uso de combustibles fósiles, menores emisiones de CO_2 , y la eliminación del uso de sal en los pavimentos congelados, lo que reduce el impacto ambiental por sal u otros contaminantes similares.

Asfalto con mezcla terminal de llantas de caucho

Durante la experimentación con un nuevo método de pavimento, la ciudad de Colorado Springs, Colorado, se dio cuenta que los procesos de fabricación de asfalto con llantas de caucho “húmedas” y “secas” llevaron a un exceso de humo y aroma que se liberaba en la atmósfera en las plantas de asfalto. Sin embargo, un proceso de fabricación de mezclado terminal parecía ser la opción más ecológica. El asfalto con mezcla terminal de llantas de goma se produce en una planta de sistema cerrado, lo que evita la entrada de humo y partículas a la atmósfera.

Beneficios ambientales: Este asfalto es más suave, más silencioso y más seguro, sobre todo durante las tormentas. Ha demostrado tener una concentración significativamente menor de contaminantes viales que desembocan en las cunetas laterales a la vía en comparación con las aguas de escorrentía contaminadas de otros pavimentos asfálticos.

Nuevas tecnologías asfálticas

Asfalto de mezcla templada: Esta tecnología consiste en la adición de aditivos tales como resina de polivinilo, polvo de zeolita sintética, o un compuesto a base de amina líquida que reduce la viscosidad, por lo que los agregados de asfalto pueden recubrirse a temperaturas más bajas. De esta manera, la mezcla es más fácil de manipular y se puede transportar por distancias más largas. Otros beneficios incluyen un mejor rendimiento de los pavimentos, ahorro de tiempo y costos durante la compactación, condiciones más saludables para los trabajadores, y menos emisiones. Algunos estudios han mostrado reducciones considerables: 30% en consumo de energía, 25% de material particulado liberado a la atmósfera, 30% de CO_2 , 60% de N_2O , y 35% de SO_2 (Ruiz, Acevedo y Puello 2014). El asfalto de mezcla semi-templada es una tecnología a base de agua (emulsionada y en espuma), con temperaturas de fabricación por debajo de 100°C . No produce COV o emisiones de **gases de efecto invernadero**.

Tecnología asfáltica de mezcla fría: Esta tecnología utiliza un tipo especial de asfalto que se compone de agregado, una

emulsión, y agua. La emulsión reduce la viscosidad del asfalto, por lo que es flexible incluso a temperaturas frías. Esta tecnología requiere sustancialmente menos energía, expone a los trabajadores viales a un menor número de riesgos, y en general es mucho más costo-efectiva que la pavimentación de mezcla en caliente

Tecnología de asfalto espumado: Esta tecnología consiste en inyectar una pequeña cantidad de agua fría (normalmente con una relación de masa de 1-5% al aglutinante de asfalto), junto con aire comprimido, en el asfalto caliente (140-170° C). El agua se convierte en vapor, y el asfalto se expande temporalmente en burbujas con una superficie mayor por unidad de masa. El asfalto de espuma se puede añadir directamente a los materiales granulares fríos a temperatura ambiente. La adición de zeolitas sintéticas al asfalto provoca un efecto espumante que puede ayudar a bajar las temperaturas para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente (Ruiz et al. 2014).

Concreto asfáltico de caucho

El concreto asfáltico de caucho contiene caucho de llantas trituradas, aglutinante de asfalto y otros materiales agregados. Es un pavimento más durable que resiste el agrietamiento, la formación de surcos y los levantamientos. No requiere ningún equipo especial de pavimentación y se puede utilizar de un espesor reducido en comparación con el asfalto convencional. Proporciona una superficie antideslizante y un contraste prolongado de color con las rayas y marcas. Este concreto ha estado en uso durante varios años.

Beneficios ambientales: el concreto asfáltico de caucho reduce la contaminación acústica con el ruido de las llantas notablemente inferior. Utiliza miles de llantas de desecho por milla de carril, lo que minimiza el número de llantas que van a los rellenos sanitarios.

Agregados derivados de llantas

Los agregados derivados de las llantas están hechos a partir de llantas de desecho trituradas y se pueden utilizar en una amplia gama de proyectos de construcción. Estos usos incluyen rellenos para muros de contención, relleno para terraplén ligero, estabilización de deslizamientos de tierra, mitigación de la vibración, y varias aplicaciones de rellenos. Es menos costoso que otros materiales de relleno ligero y requiere menos excavación para el relleno del suelo cuando se utiliza para la reparación de deslizamientos.

Beneficios ambientales: Los agregados derivados de llantas reducen la necesidad de utilizar productos mineros, como piedra pómez y grava. Además, mantiene miles de llantas fuera de los rellenos sanitarios.

Materiales alternativos para la construcción de pavimentos

Agregados del concreto reciclado y de la construcción y la demolición: Una vez separados por un proceso selectivo, los desechos de la construcción y la demolición y de los agregados reciclados del concreto pueden reemplazar hasta el 30% de los agregados en las capas base y hasta 100% en las bases granulares.

Productos biológicos: Estos productos pueden sustituir los productos derivados del petróleo, eliminar el uso de sustancias peligrosas, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía.

Residuos polimérico: Estos mejoran la resistencia a la formación de surcos, así como los módulos de las mezclas asfálticas, lo que aumenta la durabilidad de la infraestructura vial.

Escoria: Se puede utilizar en lugar de agregados gruesos en la construcción de pavimentos, que se benefician de la fuerza mecánica y la resistencia al deslizamiento de las partículas de escoria. La escoria mejora la adherencia del aglutinante y promueve propiedades mayores de fricción y abrasión.

Barreras móviles

El sistema de barreras móviles ayuda a evitar los atascos en las salidas de las autopistas, debido al rápido movimiento de la barrera de seguridad que delimita las desviaciones en las carreteras. En los Estados Unidos, las barreras móviles se utilizan tanto para las obras de construcción como para instalaciones fijas, donde el flujo vehicular diario varía de dirección en la mañana y en la tarde. El sistema consiste de una máquina que cambia la barrera lateralmente a una velocidad de 9 a 15 km/h. La barrera está hecha de elementos de concreto conformados. La sección superior tiene forma de T, lo que permite que la máquina

levante los elementos de barrera por unos pocos centímetros utilizando un sistema de rodillos que pasan por debajo de las dos alas laterales.

Beneficios ambientales: La reconfiguración de la calzada para ampliar la zona de trabajo sin tener que cerrar carriles de forma permanente acelera la construcción y alivia la congestión. El uso del sistema barreras móviles durante la construcción puede reducir la congestión ya que regula el flujo vehicular, reduce los accidentes, aumenta el tamaño de la zona de trabajo durante las horas de tráfico liviano, lo que reduce los costos, el tiempo total de construcción, y el consumo de combustible y, por consiguiente, disminuye la contaminación del aire y las emisiones de CO₂.

Diseño ecológico de señales de tráfico LED y señales de mensaje variable

Se han desarrollado nuevas señales de tráfico y una nueva generación de señales de mensaje variable (VMS por sus siglas en Inglés) con base en la evaluación del ciclo de vida de estos productos. Por ejemplo, la evaluación consideró la extracción de materia prima, el procesamiento en productos semi-acabados, la producción de productos terminados, la fase de uso (incluido el consumo de energía), y el manejo de su vida útil.

Beneficios ambientales: En términos del potencial calentamiento global, la reducción global alcanzada por las nuevas generaciones de productos en comparación con los anteriores es de alrededor de 60%. El rediseño de las señales de mensaje variable conducirá a una reducción de 25,5 toneladas de emisiones de CO₂ durante el ciclo de vida de 10 años de estas señales.

Sistemas inteligentes de cobros electrónicos para los usuarios de las carreteras

Hoy en día, el manejo del tráfico consiste en luces y sistemas de tráfico para influir en las rutas y redes de carreteras. El objetivo actual del manejo del tráfico es controlar el comportamiento de los conductores, la elección del vehículo, y la ruta y hora de salida. Se utilizan tarifas diferenciadas de acuerdo a la clase de emisiones de los vehículos. Una de las soluciones más avanzadas es un sistema integrado de tarifas a los usuarios de la vía basado en GPS y en un sistema global para las tecnologías de comunicaciones móviles (Global System for Mobile Communications, GSM)

Beneficios ambientales: Los estudios demuestran que las reducciones en los tiempos de viaje y los volúmenes de tráfico obtenidos por los peajes disminuyen la congestión, el consumo de combustible, las emisiones, el ruido y los accidentes de tráfico. Las tarifas viales son también de la medida más eficaz para reducir las emisiones de CO₂.

Compactación inteligente

El GPS y los medidores de compactación o acelerómetros monitorean la compactación aplicada (con información en tiempo real sobre las propiedades del suelo), adaptan la vibración a las necesidades de compactación, consumen menos energía y tiempo, y son más precisos.

Radar de penetración terrestre

Las ondas de radio se propagan a través del suelo, lo que permite “escanear” la tierra. Esto sirve como una excelente herramienta para llevar a cabo el diseño y la evaluación del pavimento. Se tarda menos tiempo y es menos costosa que las técnicas convencionales. También previene el sobre-diseño o el sub-diseño.

Productos ecológicamente amigables para el tratamiento de suelos

Los productos poliméricos son una solución alternativa eco-amigable a los estabilizadores de suelos tradicionales. Ellos ayudan en la estabilización de suelos. La capacidad de carga del suelo puede estabilizarse en más de un 70%.

Pavimentos bloqueadores del calor solar

La capa superficial tiene un pigmento reflectante solar que ha sido desarrollado para reducir la temperatura de la superficie y extender la longevidad del pavimento.

Cercas para el rescate de anfibios

Los anfibios migran periódicamente, especialmente durante sus temporadas de apareamiento. En esos momentos, las poblaciones locales pueden sufrir tasas de mortalidad entre 50-100% por los vehículos que pasan cuando los anfibios tratan de cruzar las

carreteras, incluso aquellas con tráfico liviano. Los canales y las cercas para el rescate de anfibios proporcionan seguridad para éstos. Por lo general, los animales son retenidos antes de que lleguen a la carretera y luego canalizados hacia los túneles que conectan las diferentes partes de su hábitat. Un dispositivo de guía en particular, consta de 400 cm elementos largos. Las placas de acero son galvanizadas por inmersión en caliente y así obtienen una duración media de más de 20 años. La altura de los elementos de 40 cm y el borde sobresaliente de 7cm hace que el sistema sea invencible para los sapos, ranas, y también pequeños mamíferos. La gran zona inferior forma una superficie de rodadura libre de vegetación que canaliza los animales hacia las zonas de cruce seguras. Los elementos se montan libres de espacios para que los animales no queden atrapados o traten de escalar. Una barrera subterránea adicional hace que sea imposible formar túneles bajo el sistema. El sistema se puede ajustar a la topografía tanto vertical como horizontalmente. Los elementos se pueden conectar en cualquier ángulo.

Herramientas para la predicción de los impactos

Los impactos causados por la infraestructura pueden predecirse utilizando una serie de herramientas y modelos, tal como se describió en el Capítulo 5. Algunas de las herramientas de uso común se describen en esta sección.

Terra-i

URL: <http://www.terra-i.org/>

Los datos pueden descargarse de forma gratuita pero los usuarios tienen que registrarse en el sitio web para poder descargarlos.

Terra-i detecta los cambios de la cobertura vegetal que resultan de las actividades humanas en tiempo casi real, produciendo actualizaciones cada 16 días. En la actualidad se usa para toda América Latina. El sistema se basa en la premisa de que la vegetación natural sigue un patrón predecible de cambio en su verdor de una fecha a otra, provocada por las condiciones climáticas y del terreno específicas para un sitio durante el mismo período. Los datos producidos están en formato RASTER ARC ASCII a 250m de resolución espacial, en grados decimales y dato WGS84. Se deriva de los datos del USGS / NASA MODIS. Los datos se procesan para proporcionar mapas de cambio de hábitat. Los datos representan detecciones anuales acumulativas del cambio de cobertura vegetal desde 2004 (CIAT sin fecha).

Databasin

URL: <http://databasin.org/>

De uso libre

Databasin ayuda en el análisis espacial de la línea de base ambiental. Agrega y actualiza los datos de la Base de Datos Mundial de Áreas Protegidas (World Database on Protected Areas), de las especies de interés de la Alianza para la Extinción Cero (Alliance for Zero Extinction), de las áreas claves de biodiversidad, de las áreas importante para aves, de los ecosistemas terrestres, y mucho más – un gran conjunto de datos continuamente creciente que incluye tanto datos sin procesar (por ejemplo, los datos de monitoreo de la temperatura y la precipitación, de las redes de carreteras, etc.), y los resultados analíticos (por ejemplo, los cambios proyectados en la idoneidad de una especie o ecosistema, interpretaciones, recomendaciones, etc.). Esta herramienta en línea permite a los usuarios localizar un proyecto junto con su área de influencia en el sistema cartográfico interactivo. Los conjuntos de datos son información espacial cargada por los usuarios, normalmente creados con un sistema de información geográfica (SIG). Estos datos se pueden visualizar y analizar utilizando las herramientas de cartografía de Databasin y descargarse para su uso utilizando el software SIG para computadoras portátiles. Los conjuntos de datos incluyen “shapefiles”, archivos ArcGRID, archivos ESRI, Geodatabases y archivos NetCDF. La mayoría de los conjuntos de datos se pueden superponer, modificar, analizar y descargar.

Integrated Biodiversity Assessment Tool (IBAT) for business

URL: <https://www.ibatforbusiness.org/login>

Requiere inscripción y pago.

IBAT está diseñado específicamente para apoyar a las empresas en la evaluación de la biodiversidad. IBAT compila los datos críticos de la biodiversidad, de conformidad con las normas aceptadas a nivel mundial. Las empresas pueden obtener la

información a través de la herramienta de cartografía en línea para seleccionar posibles inversiones, ubicar una operación en una región determinada, desarrollar planes de acción para el manejo de los impactos sobre la biodiversidad, evaluar los riesgos asociados con las regiones potenciales de abastecimiento, y obtener informes sobre el desempeño corporativo en biodiversidad. En esencia, IBAT es una base de datos central para la información sobre biodiversidad reconocida a nivel mundial, que incluye áreas clave de biodiversidad y áreas protegidas legalmente. A través de una herramienta de cartografía interactiva, los que toman las decisiones pueden obtener y utilizar la información para identificar los riesgos de la biodiversidad y las oportunidades dentro de los límites de un proyecto. Los mapas exportables hacen que sea fácil que los usuarios compartan rápidamente los resultados de las evaluaciones sobre la biodiversidad, mientras que los datos descargables permiten un análisis adicional propio. Los datos se presentan en formatos tabulares y espaciales, junto con una funcionalidad cartográfica simple.

ImazonGeo

URL: <http://www.imazongeo.org.br/imazongeo.php>

De uso libre.

Esta es una herramienta desarrollada en Brasil para el monitoreo de la cuenca del Amazonas. Es un sistema de monitoreo de la deforestación que permite saber, en casi tiempo real, dónde se produce la deforestación. Imazon puede ayudar en la detección de riesgos ambientales, tales como la identificación de las amenazas a las áreas protegidas y en la elaboración de mapas de las áreas deforestadas, de las zonas de extracción de madera, de las tipologías forestales y de las carreteras.

Global Forest Watch

URL: <http://www.globalforestwatch.org>

De uso libre.

Global Forest Watch es un sistema interactivo en línea de alerta y monitoreo forestal. Tiene disponible información sobre el estado de los paisajes forestales en todo el mundo, incluso alertas en tiempo real sobre los presuntos lugares donde han ocurrido pérdidas recientes de la cobertura forestal. Se pueden generar datos sobre el cambio forestal, la cobertura forestal, el uso del suelo, las prioridades de conservación, tales como áreas protegidas, puntos clave (hotspots) de biodiversidad, paisajes endémicos de la avifauna, y los derechos sobre las tierras y los recursos.

Tremarctos—COLOMBIA

URL: <http://www.tremarctoscolombia.org/>

De uso libre.

Tremarctos evalúa los impactos de la infraestructura sobre la biodiversidad y ofrece recomendaciones sobre la compensación que un proyecto puede llevar a cabo. Proporciona información sobre la distribución de especies, los ecosistemas sensibles, las áreas protegidas y las áreas de importancia sociocultural. También se pueden realizar análisis de riesgos y análisis de los impactos sobre los recursos marinos.

Biodiversity and Ecosystem Services Trends and Conditions Assessment Tool (BestCat)

URL: <http://bestcat.org.s3.amazonaws.com/index.html>

De uso libre.

BestCat es una aplicación cartográfica en línea que ofrece a las empresas la capacidad de comparar y contrastar los activos globales con base en el valor y el estado de los ecosistemas y la biodiversidad asociada. Esta aplicación proporciona a las empresas un paquete de datos preestablecido que pone de relieve los riesgos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y rápidamente identifica sitios críticos que requieren un manejo de riesgos. Los análisis de BestCat proporcionan una base para el desarrollo de enfoques de mitigación de riesgos costo-efectivos mediante la identificación de áreas asociadas con pasivos ambientales potenciales. Actualmente, la aplicación se centra principalmente en la biodiversidad, con el objetivo de incorporar dentro del análisis aspectos adicionales de los servicios eco-sistémicos.

The IRF Greenhouse Gas Calculator—CHANGER

Disponible en CD-ROM en www.irfghg.org

CHANGER proporciona una metodología para el cálculo y modelación de las estimaciones de emisiones en equivalentes de carbono para proyectos de construcción y mantenimiento de carreteras. El objetivo es conseguir un ahorro energético y racionalizar la presentación de los datos de emisiones. El cálculo es compatible con las directrices del Panel intergubernamental sobre el cambio climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) y los estándares de emisión utilizados son cotejados y validados regularmente. Los cálculos se refieren al ciclo de vida completo de la infraestructura vial y se repiten para diferentes escenarios y para diferentes técnicas de construcción. En la actualidad, cuenta con dos módulos: pre-construcción y pavimentación. El modelo de cálculo se basa en un simple conjunto de ecuaciones que permiten una estimación precisa de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (outputs) generados por cada fuente identificada y cuantificada (inputs).

Apéndice 1. Actividades durante la construcción de una carretera

Secuencia típica en la construcción de una carretera	Actividad constructiva	Actividad ambiental
Pre-construcción	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Contratación de la fuerza laboral de acuerdo con las regulaciones laborales nacionales o locales 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Código de conducta ▶ Prohibiciones ▶ Plan de salud ▶ Plan de seguridad ▶ Relaciones con la comunidad
Replanteo, demarcación y tablestacado	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Levantamiento topográfico ▶ Demarcación y tablestacado del derecho de vía ▶ Demarcación y tablestacado de los taludes y otros sitios de la obra ▶ Ubicación de los sitios de obras (oficinas, campamento de los trabajadores, zonas de almacenamiento, plantas de mezcla y asfalto, laboratorios, zonas de préstamo, botaderos, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Plan de seguridad ▶ Plan de mantenimiento ▶ Procedimientos Safety plan ▶ Procedimientos para el hallazgo fortuito de bienes culturales
Desmonte y remoción de vegetación Remoción de estructuras y obstáculos	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Remoción de capa vegetal, arbustos, arboles, residuos orgánicos, escombros del derecho de vía. ▶ Remoción, salvamento o disposición de escombros, cercas, estructuras, pavimentos, alcantarillas, servicios públicos, aceras y otros obstáculos. ▶ Construcción de oficinas, campamentos, áreas de almacenamiento de materiales, plantas de mezcla y asfalto, laboratorios, etc. ▶ Construcción de los sistemas de suministro de agua, y electricidad, de las instalaciones médicas y sanitarias, de los sistemas de drenaje, disposición de aguas residuales, y de basuras 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Demarcación de vegetación que no será removida ▶ Recolección y almacenamiento de semillas, vegetación nativa y capa vegetal que serán reutilizados durante la restauración de los sitios ▶ Preservación en viveros temporales de la capa vegetal y la vegetación que será utilizada en los procesos de re-vegetación y paisajismo ▶ Preservación de la fauna y flora locales ▶ Construcción de la infraestructura e instalaciones de acuerdo con las especificaciones ambientales ▶ Disposición de desechos sólidos ▶ Procedimientos para el hallazgo fortuito de bienes culturales
Vías de acceso	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Construcción de vías de acceso para el transporte de materiales, equipos, y maquinaria a los sitios de obras 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Construction, improvement, or rehabilitation of existing roads following environmental specifications (erosion, sedimentation, noise, dust, slope stabilization, drainage, water runoff) ▶ Traffic management ▶ Safety plan ▶ Chance-find procedures for historical and cultural sites
Excavaciones, terraplenes, cortes, rellenos, taludes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Suministro, acarreo, almacenamiento, colocación, disposición, terraplenado, compactación, y acabado en tierra y material rocoso 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Localización de canteras, zonas de préstamo, sitios de disposición de desechos ▶ Almacenamiento de materiales en sitios aprobados para ello ▶ Disposición de escombros en botaderos aprobados para ello ▶ Manejo del ruido y polvo, calidad del aire ▶ Manejo aguas de escorrentía ▶ Manejo de los sedimentos, estabilización de taludes, aguas de escorrentía, etc. ▶ Procedimientos de emergencia ▶ Plan de seguridad ▶ Emergencias ambientales ▶ Procedimientos para el hallazgo fortuito de bienes culturales

Secuencia típica en la construcción de una carretera	Actividad constructiva	Actividad ambiental
Voladuras	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Uso de explosivos en excavaciones en roca, construcción de túneles, remoción de grandes estructuras 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Uso de técnicas apropiadas sobre voladuras de acuerdo con las normas y regulaciones nacionales ▶ Procedimientos para el transporte, almacenamiento, empaque, conexiones y disposición final de explosivos de acuerdo con las regulaciones nacionales sobre seguridad y voladuras
Excavación de estructuras importantes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Construcción de túneles, drenajes, cimentaciones de puentes, y otras estructuras importantes 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Uso de explosivos de acuerdo con las regulaciones vigentes ▶ Disposición de escombros y desechos en los sitios autorizados para ello ▶ Control del ruido y el polvo, calidad del aire ▶ Control de los sedimentos, estabilización de taludes, aguas de escorrentía, etc. ▶ Procedimientos de emergencia ▶ Plan de seguridad ▶ Procedimientos para el hallazgo fortuito de bienes culturales
Trabajos en los cursos de agua	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Construcción de cimentaciones de puentes, culverts ▶ Obras para la protección de riberas ▶ Desviación de los cursos de agua 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Plan para el manejo de los desechos ▶ Medidas para prevenir los derrames tóxicos ▶ Preservación de la flora y fauna acuáticas ▶ Control de la erosión y la sedimentación ▶ Re-vegetación de riberas
Preparación de la sub-base y base Uso de geotextiles	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Colocación de la sub-base, la superficie en grava, el tratamiento para la superficie y otros materiales ▶ Disposición de los sobrantes de tierra y material rocoso ▶ Conformación y compactación de taludes ▶ Terminado de taludes, cunetas, culverts, ripraps, y otras estructuras subterráneas. ▶ Colocación de capas de geotextil como separadores permeables o como una medida permanente para el control de la erosión 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Control de la erosión y la sedimentación ▶ Control del ruido y el polvo ▶ Calidad del aire ▶ Control de las aguas de escorrentía ▶ Disposición de residuos sólidos ▶ Uso, manejo y almacenamiento de los materiales de construcción ▶ Seguridad en los sitios de obras ▶ Procedimientos de emergencia
Compactación, rociado de agua, pavimentación	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Compactación del material de relleno ▶ Rociado de agua para suprimir el polvo ▶ Pavimentación del derecho de vía con materiales durables como asfalto o concreto 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Control del ruido y el polvo ▶ Calidad del aire ▶ Control del agua de escorrentía ▶ Disposición de los residuos sólidos ▶ Seguridad en los sitios de obras ▶ Procedimientos de emergencia
Diseños paisajísticos y restauración de áreas intervenidas	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Re-vegetación y restauración de acuerdo con las especificaciones ambientales y el Plan de desmantelamiento y restauración 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Uso de la vegetación aprobada ▶ Restauración de áreas agrícolas, cursos de agua, canteras, zonas de préstamo, sitios de disposición o botaderos ▶ Desmantelamiento de los campamentos de los trabajadores, y los sitios de trabajo ▶ Disposición de los escombros y desechos de la construcción en los sitios aprobados para ello ▶ Cierre de tanques sépticos ▶ Re-vegetación de taludes, áreas debajo de los puentes, etc.
Equipos para el control del tráfico y el uso de la vía	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Instalación de señales de tráfico, avisos de advertencia, postes de madera, iluminación, cercas para la delimitación del derecho de vía, marcación de líneas, semáforos, etc. de acuerdo con las especificaciones y los documentos contractuales 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Manejo del tráfico ▶ Plan de seguridad ▶ Procedimientos de emergencia

Apéndice 2. Lecturas adicionales

Capítulo 2. Conceptos básicos sobre las carreteras

DFID (Department for International Development). 2005. Overseas Road Notes 5. *A Guide to Road Project Appraisal*. London.

WSDOT (Washington State Department of Transportation). 2010. *Environmental Procedures Manual*. Olympia, WA.

Capítulo 3. Impactos ambientales causados por la infraestructura vial

EEA (European Environment Agency). 2011. *Landscape Fragmentation in Europe*. EEA and Swiss Federal Office for the Environment. Copenhagen.

Grossman, D. *Guidance Note for Natural Habitats. Addressing Indirect Impacts from Rural Road Projects in Latin America and the Caribbean*. Washington, DC: World Bank.

Hegmann, G., C. Cocklin, R. Creasey, S. Dupuis, A. Kennedy, L. Kingsley, W. Ross, H. Spaling, and D. Stalker. 1999. *Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide*. Cumulative Effects Assessment Working Group and AXYS Environ Consulting Ltd for Canadian Environmental Assessment Agency. Hull, PQ, Canada.

Mandle, L., R. Griffin, and J. Goldstein. 2014. *Natural Capital & Roads: Managing Dependencies and Impacts on Ecosystem Services for Sustainable Road Investments*. Natural Capital Project. Washington, DC: The Nature Conservancy and Inter-American Development Bank.

Tsunokawa, K., and C. Hoban, eds. 1997. *Roads and Environment: A Handbook*. Washington DC: World Bank.

Capítulo 4. Aplicación de buenas prácticas ambientales

Atkins Consultants. 2007. *Good Practice Guidelines: Environmental Management of Transport Projects*. Washington, DC: World Bank.

Atkins Consultants. 2007. *Environmental Support for the Preparation for the YIBA Expressway Project: Final Generic Environmental Management Plan (EMP) Implementation Manual*. Washington, DC: World Bank.

BBOP (Business and Biodiversity Offsets Programme). 2009. *Biodiversity Offset Cost Benefit Handbook*. Washington, DC: Forest Trends.

Cambridge Conservation Initiative. 2015. *Strengthening Implementation of the Mitigation Hierarchy: Managing Biodiversity Risk for Conservation Gains*. Compiled by BirdLife International, UNEP-WCMC, RSPB, FFI, and the University of Cambridge.

Cartier van Dissel, S. 2007. *Team-based Routine Maintenance for Rural Roads: Experiences from Latin America*. Washington, DC: Public-Private Infrastructure Advisory Facility and World Bank.

Duke, G., and M. Aycrigg. 2000. *Biodiversity and Environmental Assessment Toolkit*. Washington, DC: World Bank.

Fundacion Biodiversidad, Fondo Social Europeo, and Asociacion Espanol a de la Carretera. Undated. *Manual de Buenas Practicas Ambientales en la Conservacion de Carreteras: Programa de Conservacion Sostenible de la Infraestructura Viaria*.

IFC (International Finance Corporation). 2002. *Handbook for Preparing a Resettlement Action Plan*. Washington, DC.

INVIAS (Instituto Nacional de Vías). 2011. *Guia de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura. Subsector Vial. Colombia*.

Keller, G., and J. Sherar. 2003. *Low-Volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide*. Washington, DC: USDA Forest Service and Virginia Polytechnic Institute for USAID.

Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones. 2002. *Especificaciones Generales para la Construccion de Caminos y Puentes*. Ecuador.

Moncton. 2009. *Erosion and Sediment Control at Construction Sites. Guidelines*. Moncton, NB, Canada: Engineering and Environmental Services.

PPIAF (Public-Private Infrastructure Advisory Facility) and World Bank. Undated. *Team-Based Routine Maintenance for Rural Roads: Technical Manual for Routine Road Maintenance Teams*. Washington, DC.

- . Undated. *Team-Based Routine Maintenance for Rural Roads: Maintenance Guide for the Communication Bureaus in the Formation, Contracting, and Supervision of Routine Maintenance Team*. Washington, DC.
- Quintero, J. D. 2012. *Manejo Ambiental y Especificaciones Ambientales para la Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de Proyectos Viales en Latin America*. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Quintero, J. D., E. Correa, M. de Castro, and M. A. Zambrano. 2003. *Guía para la Categorización y Definición de Requerimientos para la Evaluación Ambiental y Social de Proyectos Viales. Aplicación de las Políticas de Salvaguardia del BM*. Washington, DC: World Bank.
- SIECA (Secretaría de Integración Económica Centroamericana) and USAID (U.S. Agency for International Development). 2002. *Manual Centroamericano de Normas Ambientales para el Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras*. Guatemala.
- Tiffer-Sotomayor, R., E. Sánchez-Triana, M. Acerbi, A. Gomes Lima *et al.* 2015. *Legal Framework of Environmental Assessment in Latin America*. Washington, DC: World Bank.
- World Bank. 2004. *Involuntary Settlement Sourcebook: Planning and Implementation in Development Projects*. Washington, DC.
- . 2009. *Guidebook to the World Bank Indigenous Peoples Policy*. Washington, DC.
- . 2009. *Physical Cultural Resources Safeguard Policy Guidebook*. Washington, DC.

Capítulo 5. Soluciones técnicas para carreteras en áreas sensibles

- BBOP (Business and Biodiversity Offsets Programme). 2009. *Biodiversity Offset Cost Benefit Handbook*. Washington, DC: Forest Trends.
- . 2009. *Compensatory Conservation Case Studies*. Washington, DC: Forest Trends.
- Bissonette, J. A., and P. C. Cramer. 2008. Evaluation of the Use and Effectiveness of Wildlife Crossings. National Highway Cooperative Research Program Report No. 615. Washington, DC: Transportation Research Board.
- EEA (European Environment Agency). 2011. *Landscape Fragmentation in Europe*. EEA and Swiss Federal Office for the Environment. Copenhagen.
- GIASA (Gestión de Infraestructuras de Andalucía, S.A.). Undated. *Programa de Medidas Compensatorias Autovía Jerez–Los Barrios*. Seville, Spain.
- Keller, G., S. Wilson-Musser, P. Bolander, and V. Barandino. 2011. *Stabilization and Rehabilitation Measures for Low-Volume Forest Roads*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Madsen, B., N. Carroll, D. Kandy, and G. Bennett. 2011. *Update: State of Biodiversity Markets*. Washington, DC: Forest Trends.
- Meese, R. J., F. M. Shilling, and J. F. Quinn. 2007. *Wildlife Crossings Guidance Manual*. Sacramento, CA: California Department of Transportation.
- Quintero, J. D. 2007. *Mainstreaming Conservation in Infrastructure Projects: Case Studies from Latin America*. Washington, DC: World Bank.
- Quintero, J. D., E. Correa, M. de Castro, and M. A. Zambrano, M.A. 2003. *Guía para la Categorización y Definición de Requerimientos para la Evaluación Ambiental y Social de Proyectos Viales. Aplicación de las Políticas de Salvaguardia del BM*. Washington, DC: World Bank.
- USDA (U.S. Department of Agriculture). 2002. *Management and Techniques for Riparian Restoration: Roads Field Guide, Volume I*. Fort Collins, CO: Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Capítulo 6. Tecnologías innovadoras para carreteras

- Grossman, D. *Guidance Note for Natural Habitats. Addressing Indirect Impacts from Rural Road Projects in Latin America and the Caribbean*. Washington, DC: World Bank.

Apéndice 3. Glossario⁶

Área protegida: Un área definida geográficamente que ha sido designada o regulada, y administrada para alcanzar objetivos específicos de conservación

Área sensible: áreas terrestres y acuáticas que contienen características naturales o funciones ecológicas de tal importancia como para justificar su protección con el mejor interés a largo plazo para las personas y el medio ambiente

Bosque: Un área de tierra de más de 0,5 hectáreas con un dosel forestal de más del 10%, que no se utiliza principalmente para agricultura o para otro uso específico no forestal. En el caso de los bosques jóvenes o regiones donde el crecimiento de los árboles se suprime climáticamente, los árboles deben ser capaces de alcanzar una altura de 5 metros in situ, y de satisfacer el requisito de dosel forestal.

Cambio Climático: Un cambio en el estado del clima que se puede identificar (por ejemplo, mediante el uso de pruebas estadísticas) por los cambios en la media y/o en la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un período prolongado, típicamente décadas o más.

Capital natural: activos naturales en su papel de proporcionar insumos de recursos naturales y servicios ambientales para la producción económica. El capital natural incluye la tierra, los minerales y combustibles fósiles, la energía solar, el agua, los organismos vivos, y los servicios prestados por las interacciones de todos estos elementos en los sistemas ecológicos.

Compensaciones/Offsets de Biodiversidad: Resultados cuantificables de conservación resultantes de las acciones destinadas a compensar por los impactos residuales significativamente adversos sobre la biodiversidad derivados del desarrollo del proyecto vial después de que se han tomado las medidas de prevención y mitigación apropiadas.

Conectividad del Paisaje: El grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento entre manchas de bosque.

Conservación: El manejo activo de la biosfera para garantizar la supervivencia de la máxima diversidad de especies y el mantenimiento de la variabilidad genética dentro de cada especie. Incluye el mantenimiento de la función de la biosfera (por ejemplo, el ciclo de nutrientes y la función del ecosistema)

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora): Un acuerdo internacional entre los gobiernos que tiene como objetivo asegurar que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no amenace su supervivencia.

Deforestación: El proceso natural o antropogénico que convierte tierras forestales a no forestales.

Degradación del hábitat: Una disminución en la calidad del hábitat específico de la especie que lleva a la reducción de su supervivencia y/o al éxito reproductivo en una población (por ejemplo, en relación con los cambios del clima o de la disponibilidad de alimentos).

Ecología: Una rama dentro de la biología que se ocupa de las relaciones entre los organismos vivos y su entorno. La ecología se puede abordar en una serie de escalas; también incluye las relaciones de un organismo en particular con su entorno.

Especies en peligro de extinción: Cualquier especie que está en peligro de extinción en su totalidad o en parte de su territorio.

Especies: Grupos de poblaciones naturales que se reproducen entre sí real o potencialmente, y que están reproductivamente aisladas de otros grupos.

Estudio de Línea Base: Trabajo realizado para recoger e interpretar la información sobre el estado o las tendencias del medio ambiente.

Evaluación del Impacto Ambiental: Un proceso de análisis que examina sistemáticamente las posibles consecuencias ambientales de la ejecución de proyectos, programas y políticas.

Fragmentación: El “rompimiento” de hábitats continuos en piezas distintas.

⁶ Las definiciones se toman de la Biodiversidad de A a Z por el Centro de Monitoreo de la Conservación Mundial del Programa Ambiental de las Naciones Unidas (*Biodiversity A to Z by the U.N. Environment Programme's World Conservation Monitoring Centre*).

Ganancia neta para la biodiversidad: Resultados adicionales de conservación que se pueden conseguir para los valores de la biodiversidad para los cuales fue designado el hábitat crítico.

Hábitat Crítico: Cualquier área del planeta con alta importancia para la conservación de la biodiversidad con base en la existencia de un hábitat de importancia significativa para especies críticamente amenazadas o en peligro de extinción, de rango restringido o especies endémicas, concentraciones de importancia mundial de especies migratorias/gregarias, ecosistemas altamente amenazados o únicos y procesos evolutivos claves.

Hábitat Natural: Áreas compuestas por conjuntos viables de especies vegetales y/o animales de origen principalmente nativo y/o donde la actividad humana no ha modificado esencialmente las funciones ecológicas principales y la composición de las especies de un área determinada.

Hábitat: El lugar o el tipo de lugar donde un organismo o una población se produce de forma natural.

Impactos acumulativos: El impacto total derivado de un proyecto (bajo el control del desarrollador), otras actividades (que pueden estar bajo el control de otras personas, como otros desarrolladores, las comunidades locales, o el gobierno), y otras presiones y tendencias no reguladas. Por lo tanto, el impacto del proyecto es una parte del impacto total acumulado sobre el medio ambiente.

Indicador: Información basada en los datos medidos utilizados para representar un determinado atributo, característica o propiedad de un sistema.

Jerarquía de mitigación: Una herramienta que tiene como objetivo ayudar a manejar el riesgo sobre la biodiversidad y se aplica comúnmente en los estudios de impacto ambiental. Incluye una jerarquía de medidas: evitar, minimizar, rehabilitar y compensar/offset.

Línea base: Descripción de las condiciones existentes para proporcionar una referencia (por ejemplo, la condición de la biodiversidad previa al proyecto) contra la cual se pueden hacer comparaciones (por ejemplo, la condición post-impacto de la biodiversidad), lo que permite cuantificar el cambio.

Medio ambiente: La totalidad de todas las condiciones externas que afectan la vida, el desarrollo y la supervivencia de un organismo

Mejores prácticas ambientales: La aplicación de la combinación más adecuada de medidas y estrategias de control ambiental.

Minimización: Medidas adoptadas para reducir la duración, la intensidad y/o el alcance de los impactos que no se pueden evitar completamente en la medida en que sea factible.

Mitigación: Medidas encaminadas a reducir los impactos al punto en que no tienen efectos adversos.

Paisaje: Un área de tierra que contiene un mosaico de ecosistemas, incluidos los ecosistemas dominados por los humanos.

Recursos naturales: Activos (materias primas) que ocurren en la naturaleza que pueden utilizarse para la producción económica o el consumo.

Servicios Ambientales: Beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos incluyen servicios de aprovisionamiento como alimentos y agua; servicios de regulación, como la regulación de las inundaciones, la sequía, la degradación de la tierra, y las enfermedades; servicios de apoyo tales como la formación del suelo y el ciclo de los nutrientes; y servicios culturales tales como beneficios recreativos, espirituales, religiosos y otros beneficios no materiales.

Sostenibilidad: Una característica o estado en el que las necesidades de la población actual y local pueden ser satisfechas sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones o poblaciones futuras en otras localidades.

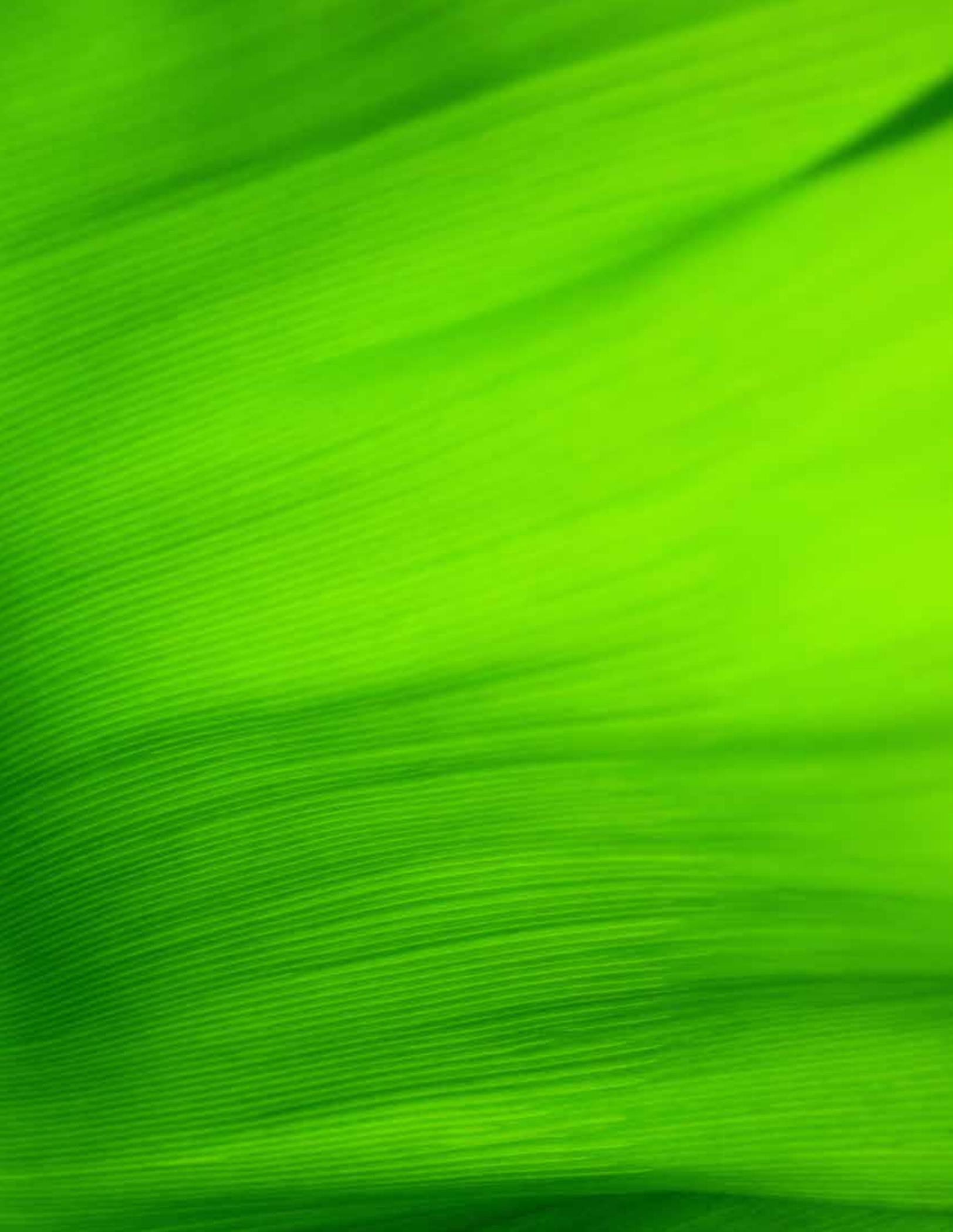
Referencias

- Atkins Consultants. 2007. *Good Practice Guidelines: Environmental Management of Transport Projects*. Washington, DC: World Bank.
- Argote, K., L. Reymondin, C. Navarrete, D. Grossman, J. Touval, and A. Jarvis. 2012. "Road Impact Assessment on Habitat Loss in Latin America." Presentation for International Center for Tropical Agriculture, 45th Anniversary.
- BBOP (Business and Biodiversity Offsets Programme). 2009. *Biodiversity Offset Design Handbook*. Washington, DC: Forest Trends.
- Beier, P., D. Majka, S. Newell, and E. Garding. 2008. "Best Management Practices for Wildlife Corridors." Flagstaff, AZ: Northern Arizona University.
- Burningham, S., and N. Stankevich. 2005. "Why Road Maintenance Is Important and How to Get It Done." Transport Note No. TRN-4. Washington, DC: World Bank.
- Bustamante, E. G., and C. Martín-Portugués Montoliu. 2014. "Improving Environmental Sustainability in Infrastructure Construction." Acciona Infrastructure.
- Cambridge Conservation Initiative. 2015. Strengthening Implementation of the Mitigation Hierarchy: Managing Biodiversity Risk for Conservation Gains. Compiled by BirdLife International, UNEP-WCMC, RSPB, FFI, and the University of Cambridge.
- Caterpillar. Undated. "In Unfamiliar, Murky Waters, Cat® Accugrade™ Shines." Available at www.cat.com/en_US/articles. Accessed 2 June 2015.
- CIAT (International Center for Tropical Agriculture). Undated. "Terra-i: About Us." Available at terra-i.org/terra-i/about-us.html. Accessed 12 June 2015.
- Clements, G. R., A. J. Lynam, D. Gaveau, W. L. Yap, S. Lhota, M. Goosem, S. Laurance, and W. F. Laurance. 2014. "Where and How Are Roads Endangering Mammals in Southeast Asia's Forests?" *PLoS ONE* 9(12): e115376.
- Clevenger, A. P., and N. Waltho. 2005. "Performance Indices to Identify Attributes of Highway Crossing Structures Facilitating Movement of Large Mammals." *Biological Conservation* 121: 453–64.
- DEAT (Department of Environmental Affairs and Tourism). 2004. *Strategic Environmental Assessment: Integrated Environmental Management, Information Series 10*. Pretoria, South Africa.
- Duke, G., and M. Aycrigg. 2000. *Biodiversity and Environmental Assessment Toolkit*. Washington, DC: World Bank.
- Elliot, W. J., R. B. Foltz, and C. H. Luce. 1997. Predicting the Impacts of Forest Roads on the Environment. Proceedings of the Third Brazilian Harvesting and Transportation Symposium. Vitoria, Brazil.
- Fardoust, S., Y. Kim, and C. P. Sepúlveda. 2010. *Post-Crisis Growth and Development*. Washington, DC: World Bank.
- Frankham, R., J. D. Ballou, and D. A. Briscoe. 2002. *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- GGHACA (Greater Golden Horseshoe Area Conservation Authorities). 2006. *Erosion & Sediment Control Guideline for Urban Construction*. Canada.
- Gleeson, J., and D. Gleeson. 2012. *Reducing the Impacts of Development on Wildlife*. Clayton, Australia: CSIRO Publishing.
- Gullison, R. E., J. Hardner, S. Anstee, and M. Meyer. 2015. *Good Practices for the Collection of Biodiversity Baseline Data*. Prepared for the Multilateral Financing Institutions Biodiversity Working Group and the Cross Sector Biodiversity Initiative. London: European Bank for Reconstruction and Development.
- Haddad, N. H., L. A. Brudvig, J. Clobert, K. F. Davies, A. Gonzales, R. D. Holt, T. E. Lovejoy, *et al.* 2015. "Habitat Fragmentation and Its Lasting Impact on Earth's Ecosystems." *Science Advances* 1(2): e1500052.
- Hegmann, G., C. Cocklin, R. Creasey, S. Dupuis, A. Kennedy, L. Kingsley, W. Ross, H. Spaling, and D. Stalker. 1999. *Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide*. Cumulative Effects Assessment Working Group and AXYS Environ Consulting Ltd for Canadian Environmental Assessment Agency. Hull, PQ, Canada.

- Hosonuma, N., H. Martin, V. De Sy, R. S. De Fries, M. Brockhaus, L. Verchot, A. Angelsen, and E. Romijn. 2012. "An Assessment of Deforestation and Forest Degradation Drivers in Developing Countries." *Environmental Research Letters* 7(4): 044009.
- IDB (Inter-American Development Bank). 2014. *Sustainable Infrastructure for Competitiveness and Inclusive Growth: IDB Infrastructure Strategy*. Washington, DC.
- . 2015. "Climate Change Risk Management Options for the Transportation Sector." IFC (International Finance Corporation). 2013. *Good Practice Handbook: Cumulative Impact Assessment and Management*. Washington, DC. IRF (International Road Federation). 2013. *Moving Towards Green Road Infrastructure: Case Studies and Lessons Learnt*. Geneva: IRF Geneva.
- Iuell, B., G. J. Bekker, R. Cuperus, J. Dufek, G. Fry, C. Hicks, V. Hlaváč *et al.*, eds. 2003. COST 341—*Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. Brussels: European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research. JICA (Japan International Cooperation Agency). 2013. *Sourcebook for Infrastructure Projects Affecting Natural Habitats*. Tokyo.
- Klapwijk, M. J., and O. T. Lewis. Undated. "Effects of Climate Change and Habitat Fragmentation on Trophic Interactions." In *Tropical Biology and Conservation Management Vol VI. UNESCO Encyclopedia of Life Support Systems*. Paris: Eolss Publishers.
- Keller, G., and J. Sherar. 2003. *Low-Volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide*. Washington, DC: USDA Forest Service and Virginia Polytechnic Institute for USAID.
- Keller, G., S. Wilson-Musser, P. Bolander, and V. Barandino. 2011. *Stabilization and Rehabilitation Measures for Low-Volume Forest Roads*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Laurance, W. F., G. R. Clements, S. Sloan, C. S. O'Connell, N. D. Mueller, M. Goosem, O. Venter *et al.* 2014. "A Global Strategy for Road Building." *Nature* 513: 229–34.
- Laurance, W. F., A. Peletier-Jellema, B. Geenen, H. Koster, P. Verweij, P. Van Dijck, T. E. Lovejoy, J. Schleicher, and M. Van Kuijk. 2015. "Reducing the Global Environmental Impacts of Rapid Infrastructure Expansion." *Current Biology* 25(7): R259–62.
- Ledec, G., and Posas, P. 2003. Biodiversity conservation in road projects: lessons from World Bank experience in Latin America. *Journal of the Transportation Research Board of the National Academies* 1819:198–201.
- Mandle, L., R. Griffin, and J. Goldstein. 2014. *Natural Capital & Roads: Managing Dependencies and Impacts on Ecosystem Services for Sustainable Road Investments*. Natural Capital Project. Washington, DC: The Nature Conservancy and Inter-American Development Bank.
- Mantilla, C. 2015. "Fastrack Road Marking Technology: Meeting Challenges with Unique Solutions." Dow®. PowerPoint Presentation. Morris, P., and R. Therivel, eds. 1995. *Methods of Environmental Impact Assessment*. Vancouver: UBC Press.
- MPW (Ministry of Public Works). 2008. "Improving Management of Environmental and Socio-cultural Impacts of Road Development in Sensitive Areas, Including Treatment of Isolated Vulnerable People." Directorate General of Highways, Indonesia.
- Napper, C. Undated. "Road Decommissioning." U.S. Forest Service, at www.fs.fed.us.
- NRC (National Research Council). 2005. *Assessing and Managing Ecological Impacts of Paved Roads*. Washington, DC: National Academies Press.
- PrincewaterhouseCoopers LLP. 2010. *Biodiversity Offsets and the Mitigation Hierarchy: A Review of Current Application in the Banking Sector*. On behalf of the Business and Biodiversity Offsets Programme and the UNEP Finance Initiative. London.
- Quintero, J. D. 2012a. *Manejo Ambiental y Especificaciones Ambientales para la Construcción, Mejoramiento y Rehabilitación de Proyectos Viales en Latin America*. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- . 2012b. "Principles, Practices and Challenges for Green Infrastructure Projects in Latin America." Discussion Paper IDB-DP 250. Washington: DC: Inter-American Development Bank.
- Quintero, J. D., R. Roca, A. J. Morgan, A. Mathur, and X. Shi. 2010. "Smart Green Infrastructure in Tiger Range Countries: A Multi-Level Approach." Washington, DC: Global Tiger Initiative, World Bank.
- Rajvanshi, A., V. B. Mathur, G. C. Teleki, and S. K. Mukherjee. 2001. *Roads, Sensitive Habitats and Wildlife: Environmental Guideline*

for *India and South Asia*. Dehradun, India: Wildlife Institute of India and Canadian Environmental Collaborative Ltd.

- Reymondin, L., K. Argote, A. Jarvis, C. Navarrete, A. Coca, D. Grossman, A. Villalba, and P. Suding. 2013. "Road Impact Assessment Using Remote Sensing Methodology for Monitoring Land-Use Change in Latin America: Results of Five Case Studies." Technical Note No. IDB-TN 561. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Rodrigo Botero, G. 2014. "Impactos Actuales y Potenciales de Deforestación por la Infraestructura Vial Entre San Vicente Del Caguán—La Macarena y San José de la Vega, Spain: Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible.
- Ruiz, M., P. A. Acevedo, and J. Puello. 2014. "Evaluation of the Environmental Impact of a Dense Graded Hot Mix Asphalt (HMA)." *Chemical Engineering Transactions* 36.
- Samsudin, Abd. Rasid. 2010. "Malaysia's Best Practices for Tiger Conservation." Presentation at the St Petersburg Tiger Summit, Russia.
- Schweikert, A., P. Chinowsky, X. Espinet, and M. Tarbert. 2014. "Climate Change and Infrastructure Impacts: Comparing the Impact on Roads in Ten Countries through 2100." *Procedia Engineering* 78: 306–16.
- Seifert-Granzin, J. 2013. "Survey on land use dynamics modeling for countries and regions in Latin America and the Caribbean." GIZ and Inter-American Development Bank.
- Seiler, A. 2001. "Ecological Effects of Roads: A Review." Department of Conservation Biology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Seiler, A., and L. Folkesson, eds. 2006. *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure*. COST 341: National State-of-the-Art Report, Sweden. Somerset County Council. 2005. *Somerset Highways Biodiversity Action Plan 2005–2010*. Somerset, U.K.
- Trombulak, S. C., and C. A. Frissell. 2000. "Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities." *Conservation Biology* 14 (1): 18–30.
- Tsunokawa, K., and C. Hoban, eds. 1997. *Roads and Environment: A Handbook*. Washington DC: World Bank.
- TxDOT, 2009. *Guidance on Preparing Indirect and Cumulative Impact Analyses*. Austin: Texas Department of Transportation.
- van der Ree, R., D. J. Smith, and C. Grilo. 2015. "The Ecological Effects of Linear Infrastructure and Traffic: Challenges and Opportunities of Rapid Global Growth." In *Handbook of Road Ecology*, R. van der Ree, D. J. Smith, and C. Grilo, eds., 1–9. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell.
- Watkins, G. 2014. "Approaches to the Assessment and Implementation of Sustainable Infrastructure Projects in Latin America and the Caribbean." Technical Note No. IDB-TN-739. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Walker, L. J., and J. Johnston. 1999. *Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions*. Brussels: European Commission. World Bank. 2008a. "Team-Based Routine Maintenance of Rural Roads: Guide for Communication Bureaus in the Formation, Contracting and Supervision of Routine Road Maintenance Teams." Washington, DC: Public-Private Infrastructure Advisory Facility and World Bank.
- World Bank, 2008b. "Team-Based Routine Maintenance of Rural Roads: Experiences from Latin America." Washington, DC: Public-Private Infrastructure Advisory Facility and World Bank.
- World Bank. 2001. "What Is Sustainable Development." Available at www.worldbank.org/depweb/english/sd.html. Accessed 15 December 2014. WSDOT (Washington State Department of Transportation). 2010. *Environmental Procedures Manual*. Olympia, WA.
- Zhu, S., H. Zhang, R. Liu, Y. Cao, and G. Zhang. 2014. "Comparison of Sampling Designs for Estimating Deforestation from Landsat TM and MODIS Imagery: A Case Study in Mato Grosso, Brazil." *The Scientific World Journal*.





Latin America
Conservation
Council