



Fotografía: ANI

DOCUMENTO DE VISIÓN

Cambio Climático y Sector Vial en Colombia



Reconocimientos

Este documento fue elaborado en su versión en inglés por la ICF International, con el título original de “Critical Climate Change Concerns for the Road Sector in Colombia”. Fue traducido al español por CDKN.

Este documento no hubiera sido posible sin la asistencia de las agencias enumeradas a continuación, que suministraron datos, asesoramiento e información acerca de resultados de procesos, durante el desarrollo y análisis de este trabajo. Aunque se hicieron todos los esfuerzos para asegurar la exactitud, dichas agencias no son responsables de ningún error, omisión o afirmaciones equivocadas que aparezcan en este reporte.

- Ministerio de Transporte de Colombia
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
- Agencia Nacional de Infraestructura (ANI)
- Departamento Nacional de Planeación (DNP)
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR)
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)

El 17 de julio de 2013 se celebró en Bogotá, Colombia, un taller titulado *Impactos Climáticos sobre el Sistema Vial Colombiano*, para nutrir este documento. Las instituciones involucradas en el proyecto (enumeradas arriba), representantes del sector privado, incluidos comerciantes, compañías consultoras y de construcción, y asociaciones y sindicatos, así como expertos claves e inversionistas de instituciones académicas y otras organizaciones asistieron a este taller. Los autores quisieran dar las gracias a los participantes del taller por proporcionar valiosa información acerca de resultados de procesos y aportes a este documento.

Este documento forma parte de un esfuerzo más grande llevado a cabo con fondos de la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN) y dirigido en cooperación con el Ministerio de Transporte y otras agencias gubernamentales colombianas. Titulado “Integración del Cambio Climático en el Sector de Transporte Colombiano”, el objetivo del proyecto es desarrollar una mayor comprensión del cambio climático en Colombia, de sus impactos sobre los sistemas de transporte e incorporar los hallazgos en la planeación y desarrollo del transporte del país. Este documento suministra datos útiles e ilustradores para el resto del proyecto, que incluye el desarrollo de un **manual** que ofrece orientaciones sobre la incorporación de la problemática climática en los procesos de adquisición y el desarrollo de un **Plan de Adaptación** al cambio climático para el sector de transporte Colombiano, en particular para la infraestructura vial carretera. El documento presenta una síntesis de un documento más extenso y más analítico que esboza detalladamente el sistema de transporte colombiano, la metodología utilizada para este análisis y los impactos regionales del cambio climático. Para resolver inquietudes sobre la metodología aplicada, suposiciones asumidas y los modelos utilizados, por favor, refiérase al documento técnico de apoyo (ICF, 2013).

Tabla de Contenido

RECONOCIMIENTOS.....	II
TABLA DE CONTENIDO.....	III
1 CLIMA, DESARROLLO Y TRANSPORTE.....	1
2 EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE COLOMBIA.....	5
3. EL CLIMA DE COLOMBIA.....	8
4. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL TRANSPORTE VIAL EN COLOMBIA.....	16
4.1 VISIÓN GENERAL DE IMPACTOS.....	16
4.2 ANÁLISIS REGIONAL.....	24
4.2.1 <i>Región Andina</i>	24
4.2.2 <i>Región Caribe</i>	26
4.2.3 <i>Región de la Orinoquía</i>	28
4.2.4 <i>Región Pacífica</i>	29
4.2.5 <i>Región Amazónica</i>	30
5 ACUERDOS INSTITUCIONALES.....	32
6 CONSIDERACIONES SOCIALES Y ECONÓMICAS.....	33
7 HACIA UN PROCESO DE PLANIFICACIÓN DE UN TRANSPORTE MÁS SOCIAL, AMBIENTAL Y COMPATIBLE CON EL CLIMA EN COLOMBIA.....	34
8 CONCLUSIONES.....	36
9 OBRAS CITADAS.....	38

1 Clima, Desarrollo y Transporte

La infraestructura no es un fin en sí mismo. Más bien, es un medio para asegurar la entrega de bienes y servicios que promuevan la prosperidad y el crecimiento y contribuir a la calidad de vida, incluyendo el bienestar social, la salud y la seguridad de los ciudadanos y la calidad de su medio ambiente. (OCDE, 2007). En ese sentido, contar con una infraestructura vial confiable, donde las carreteras actúen como un conducto principal para el comercio y la conectividad para las mercancías y los servicios, es de suma importancia para el desarrollo económico exitoso y sostenible en Colombia.

Por tal razón, el Gobierno Colombiano viene trabajando en una serie de acciones estratégicas orientadas al fortalecimiento de la infraestructura vial a través de programas como la Cuarta Generación de Concesiones, entre otros, con el cual se pretende consolidar corredores de comercio exterior y que demandan recursos cercanos a los \$47 billones¹.

El desarrollo, por otra parte, también se ve determinado por el clima el cual influye tanto en las actividades mismas del hombre como el ritmo de estas actividades. Wallace y Vogel (1994) señalan que la raza humana, para abrirse camino en el mundo, ha aprendido a adaptarse a los cambios estacionales, interanuales, etc., para programar sus actividades agrícolas, de pesca, de construcción, etc.

Por último, las relaciones entre el clima y los medios de transporte, sin que se sean los únicos factores a considerar, producen efectos sinérgicos sobre el desarrollo de las comunidades. Los eventos climáticos extremos han causado daños en carreteras e interrupciones en los servicios esenciales tales como el acceso a los centros de salud, el transporte de productos mineros y agrícolas al mercado y/o el transporte de cargamentos hacia el interior desde los puertos;

El ejemplo más patente de lo anterior es el fenómeno de la Niña 2010-2011, el cual afectó notablemente la infraestructura vial del país, en 26 de los 32 departamentos del país. Las afectaciones más relevantes se presentaron en la infraestructura vial (ver tabla No. 1), en el Canal del Dique y la región de la Mojana. Se estima que los daños causados por el Fenómeno de la Niña 2010 – 2011, sobre esta infraestructura, tanto Nacional como Regional, superaron los \$3.2 billones, siendo el modo carretero el más afectado, registrando 31.635 km afectados, de los cuales el 9,7%, es decir, 1.690 km corresponden a la red Primaria a cargo de la Nación, vías que cumplen con la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y que además sirven de comunicación con los demás países. (Ministerio de Transporte, 2012).



Imagen 1. Vía Cúcuta y Pamplona. (Fuente: MinTransporte 2012)

¹ CAPEX

Tabla 1: Afectaciones viales Fenómeno de la Niña 2010 – 2011

Red vial	Total km	Km afectados	%	Puentes afectados
Red Primaria	17.483	1.690	9,7%	92
Red Primaria INVIAS	11.503	1.636	14,2%	83
Red Primaria INCO	5.980	54	0,9%	9
Red Secundaria	35.040	2.453	7,0%	NR
Red Terciaria	135.679	27.492	20,3%	NR
Total	188.202	31.635	16,8%	92

NR : No se tuvo reporte

Se registraron cierres prolongados de importantes corredores viales, que afectaron el transporte de carga, pasajeros y por consiguiente el comercio interior y exterior, como se muestra en la Tabla No.2.

Tabla 2: Registro de vías con cierres y pasos restringidos

Departamento	Origen Destino	No. Días	
		Cierre total	Cierre parcial
Antioquia	Barbosa - Cisneros - Puerto Berrío	33	312
	Chigorodó – Dabeiba	34	81
	La Mansa - Primavera	10	98
Atlántico	Calamar - Palmar De Varela	15	69
Caldas	La Felisa - La Pintada	9	49
Caldas - Tolima	Puente La Libertad - Fresno - Honda	41	91
Cauca	Pasto - Popayán	3	175
Cesar	San Roque - Bosconia	36	214
Cundinamarca	Honda - Alto de La Mona – Villeta	111	299
Huila	La Plata - Laberinto - Inzá	1	65
Norte de Santander	Ocaña - Alto El Pozo - Sardinata	25	84
	Sardinata - El Zulia	9	77
Santander	Málaga - Los Curos	14	65
	Bucaramanga - San Alberto	11	102
	Cúcuta - Pamplona	26	78

Por lo anterior, es evidente la importancia de evaluar la vulnerabilidad de las carreteras nacionales de manera oportuna y generar acciones para reducirla, mediante la adopción de estrategias de prevención en los procesos de planeación y de ejecución de proyectos.

No se trata solo de atender emergencias viales con base en el estado o nivel de deterioro de las vías, sino por el contrario, promover el desarrollo de diseños técnicos integrales para que en el largo plazo las vías puedan contar con un nivel de servicio óptimo que garanticen no solo su vida útil, sino que estén también en capacidad de resistir los cambios del clima.

La adaptación ha sido definida como “ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos actuales o esperados, o sus efectos, que modera el daño o saca provecho de las oportunidades favorables” (DNP, 2013). La adaptación de la infraestructura al cambio climático no eliminará, por tanto, los impactos negativos relacionados con eventos extremos del clima, pero sin duda una oportuna y proporcionada contribuirá a asegurar que las inversiones se orienten a infraestructuras más resilientes para apoyar una economía competitiva y mantener servicios a largo plazo que soporten las expectativas de desarrollo.

La incorporación del cambio climático en las inversiones del sector transporte, plantean un reto para el desarrollo y, a la vez, una oportunidad para los planificadores: el reto es el de construir y mantener un sistema de transporte que estimule el desarrollo económico y social, proteja ecosistemas frágiles y sea resiliente ante los impactos del cambio climático; la oportunidad es la de reinventar la planeación en el sector para atender de manera más integral las necesidades de desarrollo en forma compatible con el clima, que esté mejor adaptada al medio ambiente presente y futuro y reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero².

La introducción de medidas de adaptación³ en el esquema de planeación y de ejecución de obras de infraestructura requerirá considerar de manera general los siguientes elementos: (1) diagnóstico de vulnerabilidad y riesgo de los sistemas de transporte, (2) identificar el momento más oportuno y óptimo para adaptarse dentro de la vida útil de un recurso, (3) considerar tanto los costos como los beneficios de la adaptación y (4) valorar los co-beneficios de las medidas de adaptación. De forma específica, la elección de medidas específicas de adaptación requerirá de evaluaciones específicas del contexto, el lugar, costos a lo largo del ciclo de vida, dificultad de implementación, impactos sociales y consecuencias ambientales.

Para lograr que la adaptación del sector transporte corresponda con una política integral es necesario que concurren todos los actores y grupos de interés: Gobierno Nacional, Entidades Territoriales, sector privado, usuarios, etc.

La intención de este documento es abordar el tema del cambio climático en el sector de transporte identificando los riesgos e impactos claves relacionados con el clima, para lo cual se establecieron como áreas de estudio para las Regiones Andina, Caribe, de la Orinoquía, Pacífica y Amazónica (ver la Figura 1) y así alimentar ese proceso con información confiable y útil para los actores sectoriales.

² Aunque la contribución de Colombia a las emisiones globales de GEI es sólo del 0,37%, uno de los sectores que contribuye con mayor proporción a las emisiones es del transporte por quema de combustibles, representado alrededor del 36% del módulo de energía y el 12% de las emisiones totales, de las cuales el subsector carretero aporta el 90%. Fuente; Segunda Comunicación Nacional.

³ Estas pueden incluir cambios en la planeación, ubicación, diseño, ingeniería, operaciones y mantenimiento de las carreteras, así como adoptar un enfoque de adaptación eco-sistémica.



Figura 1. Regiones Naturales de Colombia

2 El Sistema de Transporte de Colombia

En Colombia el modo de transporte más representativo dentro del total de movilización de carga es el carretero con un 72% de participación, en cuanto al transporte de pasajeros, también es predominante el modo carretero con un 92% de participación⁴, lo cual indica la importancia que tiene este sistema para la economía y el mantenimiento bienestar de las comunidades en general.

De acuerdo con cifras proporcionadas por el Ministerio de Transporte, actualmente la red vial primaria tiene una longitud de 16.534 Km, de los cuales 5.214 Km se encuentran administrados bajo la modalidad de contratos de concesión, por la Agencia Nacional de Infraestructura⁵ y 11.320 Km se encuentran a cargo del Instituto Nacional de Vías - INVÍAS. La Figura 2 muestra algunos de los corredores principales en Colombia en la red primaria.

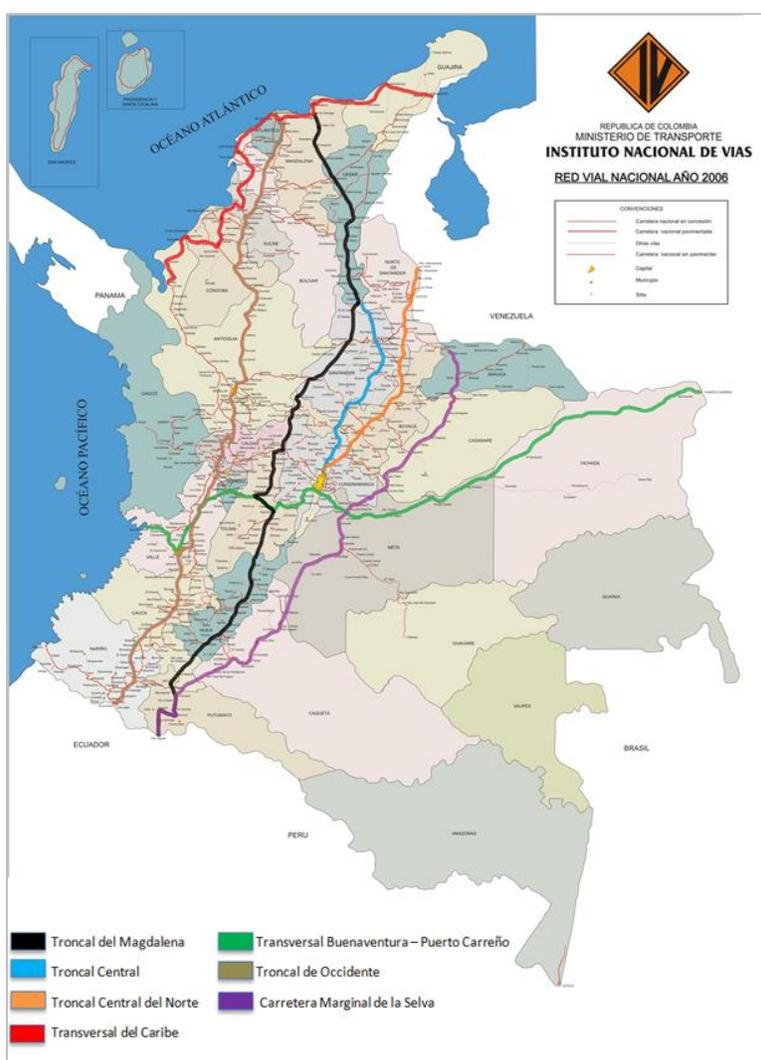


Figura 2: Principales Vías de Colombia

⁴ Anuario Estadístico Versión 2011.

⁵ CONPES 3790.

Debido a la configuración geográfica de Colombia, su sistema de carreteras se ha consolidado parcialmente a través de las vías troncales que recorren el país en el eje norte-sur. Las condiciones de estado, capacidad y nivel de servicio que ofrecen las vías no son uniformes a lo largo de dichos corredores. Según el informe del estado de la red de enero de 2012, realizado por el INVÍAS⁶, el 47% de la red pavimentada se encuentra en buen estado, el 28% en regular y 25% en malo; en la red en afirmado, sólo el 4% se encuentra en buen estado, un 30% en regular y el 66% entre malo y muy malo (PEIT, 2013).

Las carreteras principales están ubicadas principalmente en las Regiones Andina y Caribe. El análisis de datos de tráfico realizado por el INVÍAS en 2010 muestra que por la Troncal de Occidente se desplaza alrededor del 30% del tráfico en las siete carreteras nacionales para transporte de pasajeros. Esta carretera es la más occidental de las carreteras principales de norte-a-sur en Colombia. La Troncal Central del Norte y la Transversal Buenaventura-Puerto Carreño, también presentan un porcentaje significativo con alrededor del 18% y el 15% del promedio anual de tráfico diario, respectivamente. En la Troncal de Occidente transita la proporción más alta de vehículos de carga, con más del 27% del promedio anual de tráfico diario. La Transversal de Buenaventura-Puerto Carreño moviliza la segunda cantidad más alta de tráfico, con más del 19%, seguida por la Troncal Central del Norte, con más del 15% (ver la Figura 3).

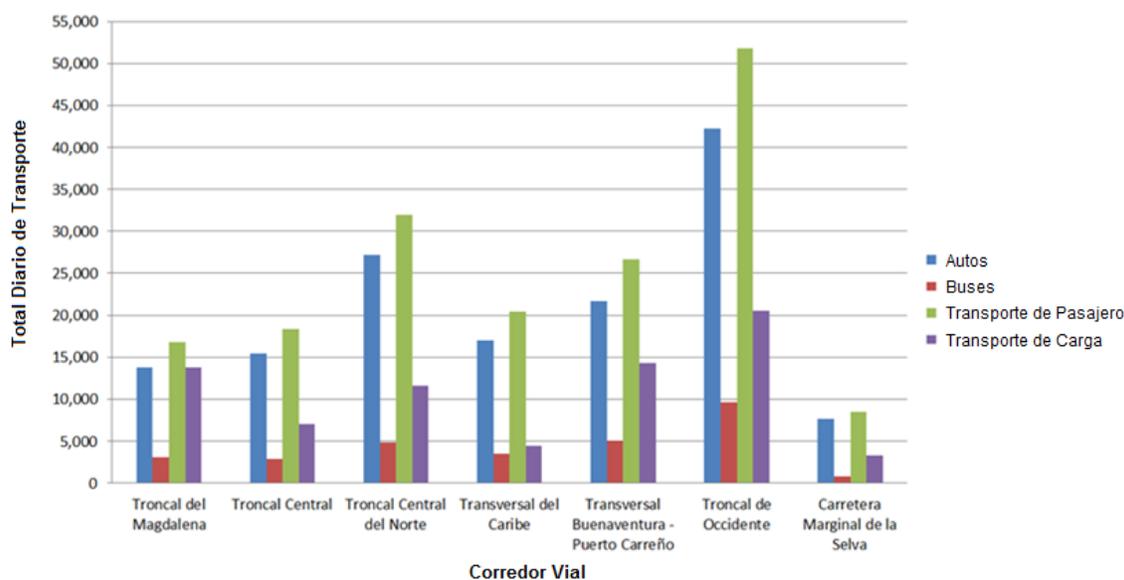


Figura 3: Promedio de tráfico diario anual a lo largo de las principales carreteras de Colombia.⁷

De igual forma, el Ministerio de Transporte estima la existencia de 43.000 Km de red secundaria⁸. Por último, a través del INVÍAS y en coordinación con los municipios se tiene estimada una longitud de aproximadamente 141.945 Km⁹ de vías terciaria.

⁶ Para la red a cargo del INVÍAS, el instituto realiza periódicamente una evaluación visual que le permite ponderar con base en una serie de criterios el estado de las vías en 5 categorías (Muy bueno, bueno, regular, malo y Muy malo). En el presente documento y con el fin de poder realizar los análisis y comparativos respectivos las 5 categorías se agrupan en 3, que a saber son: Bueno (muy bueno y bueno), regular y malo (malo y muy malo).

⁷ Consultoría Colombiana, 2013a.

⁸ Programa Plan Vial Regional.

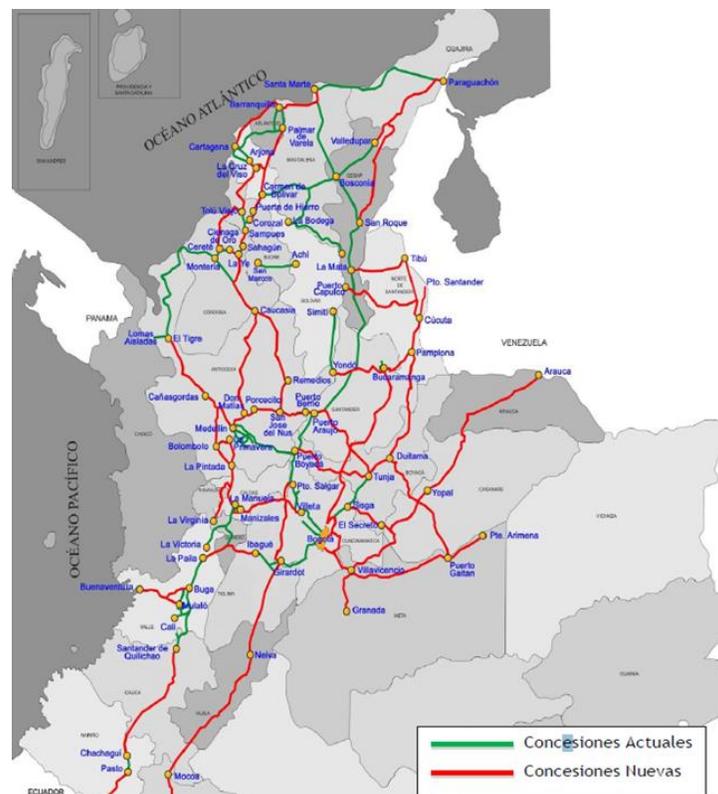
⁹ Subdirección de red terciaria del INVÍAS.

En el Plan Nacional de Desarrollo – PND – 2010-2014: Prosperidad para Todos, se resalta que la política de infraestructura de transporte deben enmarcarse en procesos de planificación adecuados con un nivel avanzado de los estudios técnicos; en la definición de lineamientos en materia de adaptación y mitigación del riesgo frente a desastres naturales; en el desarrollo de programas que respondan y complementen las apuestas productivas y sectoriales; en la adopción de nuevos y mejores mecanismos de financiación; y en la integración y desarrollo regional.

En ese sentido, el PND señala que el impulso a la consolidación de corredores de comercio exterior que conectan los principales centros de producción y consumo con los puertos marítimos, aeropuertos y pasos fortalece las condiciones de competitividad del país, para lo cual se estableció otorgar prioridad a la terminación de corredores que permitan la homogeneización de la capacidad vial.

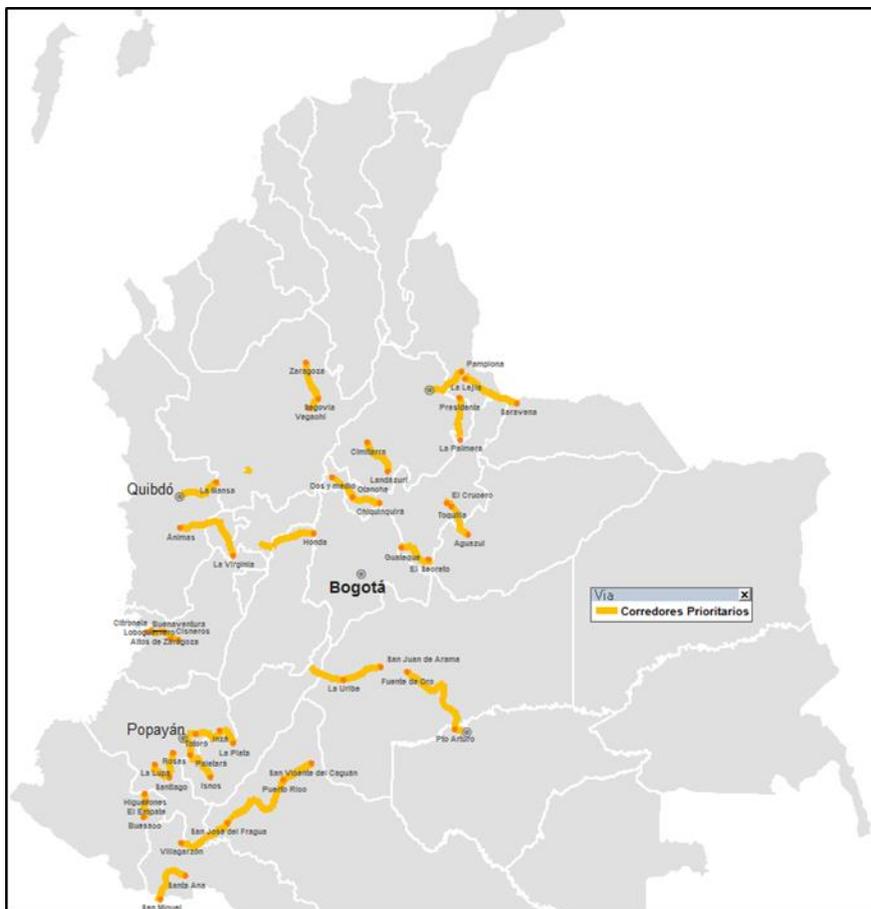
Teniendo en cuenta lo anterior, a través de la ANI, se estructuró el programa de Cuarta Generación de Concesiones (4G), cuyos lineamientos generales se definieron mediante el documento CONPES 3760 de 2013 y que, en general se basan en los siguientes componentes: estructuración eficaz para la aceleración de la inversión en infraestructura; procesos de selección que promuevan participación con transparencia; gestión contractual enfocada a resultados; y distribución de riesgos en el programa. En este documento se definieron también los grupos y corredores que hacen parte del programa, los cuales pueden apreciarse en la Figura No. 4

Figura No. 4 Cuarta Generación de Concesiones



En complemento de lo anterior, el PND establece que, con el propósito de mejorar la conectividad transversal de la configuración vial del país se adelanta el programa Corredores Prioritarios para la Prosperidad, con el cual se busca articular los corredores troncales, facilitar la conectividad y garantizar la accesibilidad regional

Figura No. 5. Corredores Arteriales de Competitividad y Prosperidad



3. El Clima de Colombia

Dada su localización en la franja ecuatorial, Colombia está bajo la influencia de la Zona de Confluencia Intertropical, sus características fisiográficas además son diversas y complejas con la presencia de la cordillera de los Andes en sus tres divisiones, así como la presencia de islas y extensiones considerables de costas en ambos océanos. Sumado a esto, una biodiversidad ecosistémica particular con la presencia de glaciares, páramos, bosques altoandino y subandino, selvas húmedas y muy húmedas, desiertos, manglares, arrecifes de coral, entre otros.

No obstante, el clima de Colombia se puede clasificar en 6 categorías, que se extienden desde árido a lluvioso, y varía sustancialmente a través de 5 regiones (ver la Figura 6)

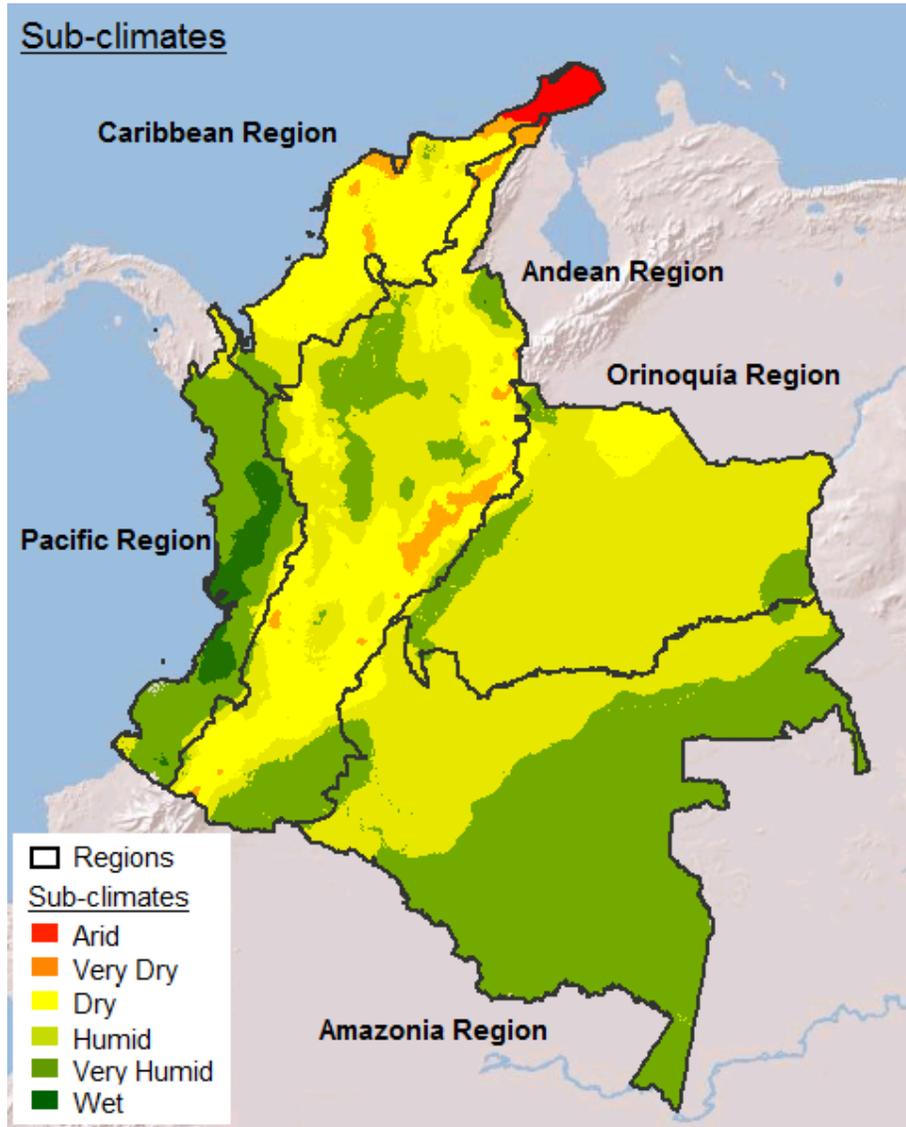


Figura 6: El clima de Colombia, clasificado en 6 sub climas.¹⁰

Tabla 3: Clasificación Sub climas

Sub-clima	Temperatura (°C)	Precipitaciones(mm)
Árido	> 24	0 – 500
Muy Seco	12 – 18	500 – 1000
Seco	1.5 – 6	1000 – 2000
Húmedo	> 24	2000 – 3000
Muy Húmedo	> 24	3000 – 7000
Lluvioso	> 24	> 7000

¹⁰ Fuente de los datos suministrada por el IDEAM, 2013.

Las características climáticas, biofísicas y socioculturales de Colombia hacen de este un país bastante vulnerable a los efectos del cambio y la variabilidad climática. Esta sección describe factores claves que determinan el clima en Colombia como la temperatura y las precipitaciones, presentando una visión general de sus condiciones históricas, situación actual, proyecciones futuras^{11, 12} y enfocándose en las afectaciones que pueden tener estas circunstancias sobre el sistema de transporte vial en Colombia.

Temperatura. Históricamente, la temperatura promedio ha variado significativamente en toda Colombia. Por ejemplo, las temperaturas promedio en las regiones montañosas pueden ser de menos de 5°C, mientras que las áreas más calurosas tienen temperaturas cercanas a los 30°C.

Desde 1980 hasta 2011, la temperatura anual promedio de Colombia ha experimentado un aumento de casi 0.2°C por década.¹³ Entre 1960 y 2006, ha habido un aumento notable en el número de días calurosos¹⁴ y noches calurosas¹⁵ en todo el año.¹⁶ El número de días calurosos por año ha aumentado en 76 días (o el 21% más de días calurosos) y el número de noches calurosas ha aumentado en 74 noches (o el 20% más de noches calurosas).¹⁷ Adicionalmente, el número de días fríos¹⁸ ha disminuido en 26.6 días (o el 7% de días fríos) y el número de noches frías¹⁹ ha disminuido en 27 días (o los 7% de las noches).²⁰

Por otra parte, de acuerdo con la Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, a través de diferentes estudios realizados por el IDEAM, se encontró en los análisis una tendencia lineal en la temperatura media del aire, la cual está aumentando a una tasa de cambio promedio para el país de 0,13°C/década; valores que son consistentes con los obtenidos con el modelo ERA40 (Precis), con el cual se obtuvo un valor similar de 0,12°C/década; mientras que el modelo MRI arrojó un resultado de 0,32°C/década para la serie 1978- 1998.

En el período cercano (2011-2040) se proyecta que las temperaturas anuales aumenten en todas las regiones, de 0.7 a 1.1°C en un escenario de bajas emisiones y entre 0.9 a 1.3°C en un escenario de altas emisiones. Para mediados del siglo (2041-2070), se proyecta que el promedio anual aumente en todas las regiones en un 1.2 a 1.6°C en el primer escenario y entre 1.6 a 2.2°C en el segundo. Con algunas excepciones, se proyecta que los meses de junio hasta agosto experimentarán los máximos aumentos en temperaturas.

¹¹ Para efectos de este informe, el tiempo se define como eventos cotidianos y el clima como promedios de 20-30 años.

¹² Este análisis utiliza 9 modelos de clima para considerar futuros cambios climáticos en Colombia. Mientras que los modelos están de acuerdo en general en temperatura, en términos de magnitud y dirección del cambio, hay algunos desacuerdos en la magnitud y dirección del cambio (es decir, positivos o negativos) para la precipitación. Como tal, los resultados se deben interpretar con cautela. Ver el informe técnico para una descripción de los resultados y la confianza en cada una de las proyecciones de precipitación presentadas aquí (es decir, acuerdo en todos los modelos).

¹³ IDEAM, 2012.

¹⁴ Definidos como el número de días en los cuales la temperatura mínima diaria supera el 10 por ciento de días más calurosos en el período de clima (1970 a 1999).

¹⁵ McSweeney, 2010.

¹⁶ Definidos como el número de días en los cuales la temperatura máxima diaria está por debajo del 10 por ciento de días más fríos en el período de clima (1970 a 1999).

¹⁷ Definidos como el número de días en los cuales la temperatura mínima diaria está por debajo del 10 por ciento de días más fríos en el período de clima (1970 a 1999).

¹⁸ McSweeney, 2010.

¹⁹ IDEAM, 2012.

²⁰ IDEAM, 2011a.

Por último, se ha demostrado que la variabilidad de la temperatura de un año a otro está estrechamente relacionada con la ocurrencia de los fenómenos de El Niño y La Niña²¹. Fuertes fenómenos de El Niño han estado asociados con aumentos notables en la temperatura promedio anual de Colombia (por ejemplo, de los diez años más calurosos en el período 1960 – 2011, ocho tuvieron influencia de El Niño). En cambio, durante los fenómenos de La Niña, las temperaturas promedio en el país también descendieron notablemente.

Precipitación. A partir de 1960, Colombia se ha vuelto más lluviosa de marzo hasta mayo, mientras que de junio hasta agosto se ha vuelto ligeramente más seca. La cantidad total de precipitaciones ha aumentado durante los eventos extremos. Desde 1980 hasta 2011, el total de las precipitaciones anuales en Colombia ha mostrado un aumento alrededor de 7 mm por década²². La cantidad de precipitación recibida durante los eventos extremos de lluvia ha aumentado: Durante los meses de diciembre-febrero, la precipitación máxima asociada a un día por año, se ha incrementado en 3,5 milímetros por década. La precipitación máxima asociada a 5 días por año se ha incrementado en 6,6 milímetros por década durante marzo-mayo y disminuyó en 6,5 milímetros por década durante junio-agosto. Durante el fenómeno de La Niña, las condiciones en el territorio colombiano tienden a experimentar condiciones de precipitación entre normales y superiores a lo normal.

Según la SCN, las tendencias para el periodo 1971-2000 de la precipitación total anual, han mostrado disminución en unos sectores y aumentos en otros. En particular, las disminuciones más significativas en la lluvia total anual se registraron en los departamentos de Atlántico, Arauca, Guaviare, Boyacá y Cundinamarca; mientras que las mayores tasas de aumento se registraron a nivel regional en áreas de Quindío, San Andrés, Cesar, Cauca, Vaupés, Guainía, Antioquia, Chocó y Caldas. Teniendo en cuenta los resultados de los modelos ERA40 y GSM-MRI, se localizaron aumentos de precipitación en algunos sectores de las regiones Caribe, y Andina, particularmente hacia Antioquia, Valle del Cauca y Eje Cafetero, mientras que se observan reducciones en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Tolima y Huila. El modelo GSM-MRI también consideró aumentos de lluvia en una amplia porción de la Amazonia

En resumen, las áreas que han experimentado un aumento incluyen: gran parte del Caribe, Orinoco, Amazonas, el valle de Magdalena Medio, la Cuenca del Cauca (la mayoría de Antioquia), el eje Cafetero, el Pacífico norte y central, el Piedemonte (en especial en el Departamento del Meta), el Huila, y el Tolima central y sur (ver la Figura 7).²³

²¹ IDEAM, 2012.

²² IDEAM, 2011a.

²³ McSweeney, 2010.

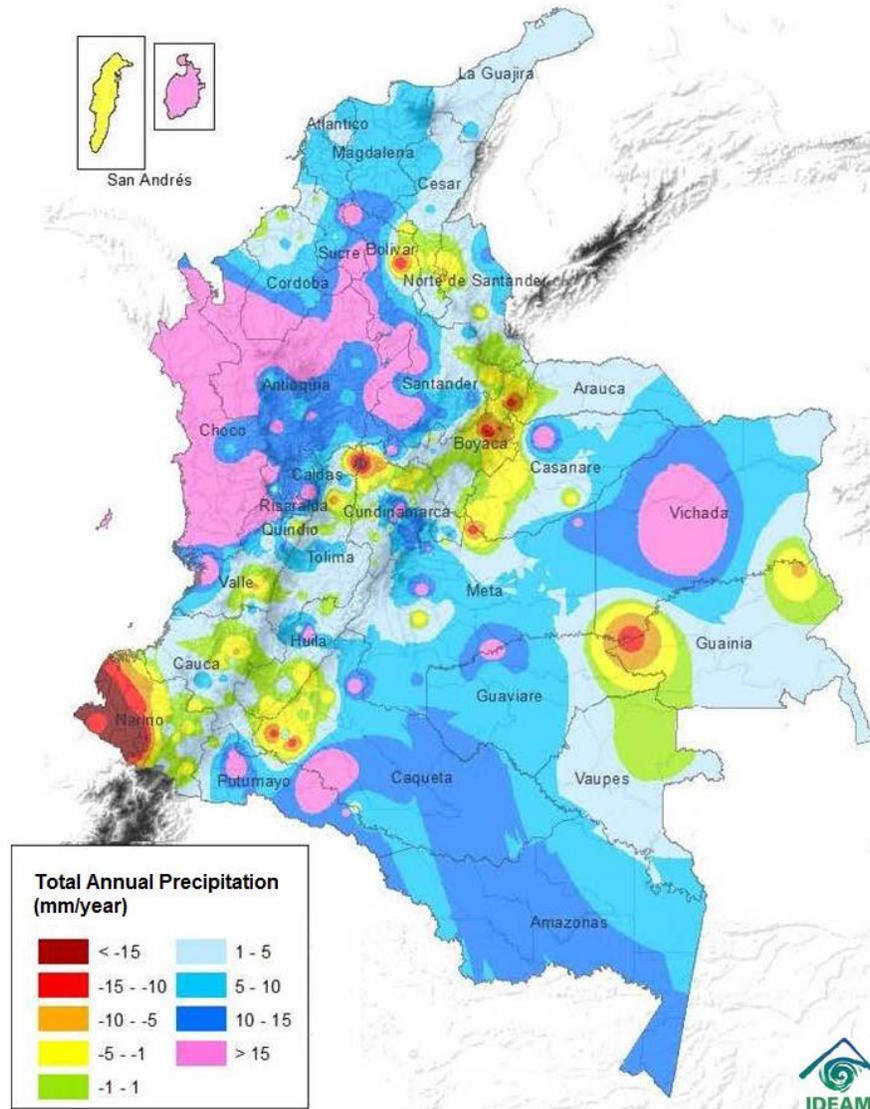


Figura 7: Tendencia de las precipitaciones total anuales, desde 1970 hasta 2010. La tendencia positiva (sombreado en azul y fucsia) es un aumento en las precipitaciones y la tendencia negativa es un descenso (sombreado en amarillo, naranja y rojo).²⁴

En vista de que el buen funcionamiento y la eficiencia del sistema vial se afectan directamente por eventos de fuertes lluvias, es útil considerar los índices generales de precipitación que aparecen en la Tabla 4, los cuales reflejan la intensidad y la frecuencia de eventos de tormentas y también cambios en extremos de precipitación que podrían afectar las inundaciones y derrumbes^{25,26}.

²⁴ McSweeney, 2010.

²⁵ Para una discusión más profunda de estos índices, ver ICF, 2013.

²⁶ Fundación Brasileña para un Desarrollo Sostenible (FBDS), sin fecha.

Tabla 4: Índice de precipitaciones que describen la frecuencia y la intensidad de eventos por precipitaciones.

Índice	Definición	Implicaciones	Riesgo(s) Asociado(s)
Lluvia-10	Número de días con precipitación igual o superior a 10mm/día (días)	Medida directa del número de días muy lluviosos, altamente correlacionados con el total anual y estacional de precipitación en la mayoría de los climas.	Inundación, derrumbe
Lluvia-5d	Precipitación total máxima de 5 días por año (mm)	Una medida de intensidad de precipitación a corto plazo.	Inundación, derrumbe
Lluvia-95t	Porcentaje de precipitación total anual debido a eventos que exceden el percentil 95 (%) del periodo 1970-2000	Este índice puede estar altamente relacionado con el número de eventos extremos por año.	Inundación, derrumbe

Como muestra la Tabla 5, la intensidad de eventos de fuertes precipitaciones tiende a ser mayor en la Región Pacífica, seguida por la región de la Orinoquía y la Región Amazónica. Estas regiones, sin embargo, no experimentan tantos eventos de fuertes precipitaciones por año, comparadas con las Regiones Andina y Caribe. En otras palabras, las Regiones Andina y Caribe parecen experimentar eventos de fuertes precipitaciones menos intensos, pero más frecuentes.

Tabla 5: Índices de Precipitaciones para cinco regiones climáticas en Colombia (de 1970 a 2000), con base en los datos suministrados por el IDEAM (2013).²⁷

Región	# de Estaciones en la región	95-Percentil (mm)	lluvia-10 (días)	lluvia-5 días (mm)	lluvia-95-t (%)
Amazona	5	49	71	181	20
Andina	79	36	48	131	30
Caribe	17	47	36	141	30
Orinoquia	14	53	70	191	20
Pacífica	7	67	115	262	20

En cuanto a proyecciones de patrones futuros de precipitación, se estima un clima más lluvioso a **mediano plazo en la mayoría del país, durante los periodos diciembre- mayo, y septiembre-noviembre**. Los cambios en las precipitaciones son una preocupación, ya que estas se consideran una causa principal de derrumbes en Colombia²⁸ ya que las precipitaciones aumentan la saturación de los suelos, afectando la estabilidad de las laderas y causando derrumbes.²⁹

Por otra parte, se proyecta que el periodo de **junio-agosto** será más seco. En resumen parece haber una tendencia a que los periodos lluviosos se vuelvan más lluviosos y los periodos secos se vuelvan más secos.

Los cambios proyectados a corto plazo y para mediados de siglo de los índices de precipitación aparecen en la Tabla 6. Para la mayoría de las regiones y los periodos de tiempo futuros, estos índices sugieren que la intensidad y frecuencia de eventos de fuertes precipitaciones aumentarán. El Caribe es una excepción notable de esto.

²⁷ IDEAM, 2013.

²⁸ Khabarov et al., 2011.

²⁹ IFC, 2011.

Tabla 6: Proyecciones del período-cercano de cambio absoluto y porcentaje de índices de precipitación, comparados con las condiciones de 1970 a 2000, basadas en análisis de datos de WCRP CMIP3.

Región	lluvia-10 (días)		lluvia-5días (mm)		lluvia-95t (%)	
Descripción	Número de días muy lluviosos por año		Intensidad a corto-plazo del peor evento por año		Número de eventos extremos por año	
B1						
	Histórico	Cambio Proyectado	Histórico	Cambio Proyectado	Histórico	Cambio Proyectado
Amazónica	71	4.9 (7%)	181	6.4 (4%)	20	2.4 (12%)
Andina	48	6.0 (12%)	131	6.6 (5%)	30	0.3 (1%)
Caribe	36	3.5 (10%)	141	-1.4 (-1%)	30	-1.7 (-6%)
de la Orinoquía	70	1.2 (2%)	191	0.2 (<1%)	20	0.1 (<1%)
Pacífica	115	7.4 (6%)	262	11.8 (5%)	20	1.5 (8%)
A2						
	Histórico	Cambio Proyectado	Histórico	Cambio Proyectado	Histórico	Cambio Proyectado
Amazónica	71	4.2 (6%)	181	5.0 (3%)	20	2.1 (11%)
Andina	48	1.4 (3%)	131	0.8 (1%)	30	0.4 (1%)
Caribe	36	-3.7 (-10%)	141	-7.3 (-5%)	30	-2.3 (-8%)
de la Orinoquía	70	0.5 (1%)	191	1.4 (1%)	20	1.0 (6%)
Pacífica	115	1.4 (1%)	262	4.8 (2%)	20	0.8 (4%)

Aumento del Nivel del Mar y Marejada Ciclónica. Durante el siglo XX, el mar se ha elevado en promedio de 170 milímetros (0.17 metros).³⁰ Este ascenso se ha acelerado en décadas recientes a aproximadamente 1.6 milímetros por año, desde 1961 hasta el 2003.³¹ Sin embargo, el aumento del nivel del mar no es uniforme a nivel mundial, debido a cambios locales en factores tales como la salinidad, la circulación, sedimentos y erosión y la geomorfología (elevación/hundimiento) del océano.

En Colombia, el nivel del mar ha aumentado en las áreas costeras de 1 a 3 milímetros por año entre 1960 y 1990, con una aceleración percibida durante la década pasada.³² La estación de mareas de Cartagena informa un aumento en el nivel del mar de alrededor de 5.6 milímetros por año a lo largo de los últimos 40 años.³³ La estación de Puerto Cristóbal en el noroeste y la estación de Buenaventura en la Costa Pacífica registraron un aumento en el nivel del mar de 2.2 milímetros por año a lo largo del mismo período.³⁴ Estas estaciones de mareas sugieren que algunos de estos lugares de la costa han experimentado un ascenso en el nivel del mar a una tasa más rápida que la tasa global.

A medida que aumenta el nivel del mar, la infraestructura y otros recursos al nivel del mar, o cerca del mismo, podrán inundarse con mayor frecuencia o más severamente. Un número de estudios sugieren que el nivel del mar promedio a nivel global podría aumentar dentro del rango de 0.5 a 2.0 metros para el año 2100 con un consenso general de 1 metro.^{35,36,37,38,39,40} Este rango demuestra la gran

³⁰ Bindoff et al., 2007.

³¹ Domingues et al., 2008.

³² Magrin et al., 2007.

³³ IFC, 2011.

³⁴ Magrin et al., 2007.

³⁵ NRC, 2010.

³⁶ Nicholls et al., 2007.

³⁷ Rahmstorf, 2007.

³⁸ Pfeffer et al., 2008.

³⁹ Rohling et al., 2008.

incertidumbre asociada con la estimación del aumento del nivel del mar. Maurice et al. (2010) sugieren que el aumento en el nivel del mar para el Caribe será cerca al promedio global.⁴¹ Los hallazgos disponibles para nuestro estudio sugieren que el aumento local del nivel del mar ha ocurrido por encima de la misma. Esto sugiere que las proyecciones futuras del aumento del nivel del mar promedio global podrán ser algo conservadoras en cuanto a lo que se puede esperar a lo largo de la línea costera colombiana.

Las alturas de las marejadas ciclónicas asociadas con diversos periodos de retorno o intervalos de recurrencia, han sido desarrolladas por la estación mareográfica de Cartagena (véase la Tabla 7). Por ejemplo, para un periodo de retorno de 10 años, existe una probabilidad del 10% de que una marejada ciclónica exceda una altura de 12.8cm al menos una vez, y para un periodo de retorno de 50 años existe una probabilidad de 1/50 o 2% de que una marejada ciclónica exceda una altura de 15.1mm. A pesar de las connotaciones del periodo de retorno, esto no quiere decir que un evento de marejada ciclónica de 10 años va a pasar con regularidad cada 10 años o sólo una vez en 10 años. En cualquier período dado de 10 años, un evento puede ocurrir una vez, dos veces, más, o nunca. La altura de la marejada ciclónica es la altura adicional asociada a la oleada de la tormenta, es decir la altura adicional a la marea astronómica o rango de marea. Cuando la marejada ciclónica se compara con el rango de marea de 360mm experimentada en esta estación, la altura de la marejada ciclónica no se considera significativa para causar inundaciones costeras, incluso con la marejada ciclónica asociada a un evento que tiene un 1% de probabilidad de ocurrir en cualquier año dado⁴²⁴³.

Tabla 7: Altura de las marejadas ciclónicas para períodos de retorno para la estación de mareas de Cartagena.⁴⁴

	<i>Período de Retorno</i>			
	<i>1</i>	<i>10</i>	<i>50</i>	<i>100</i>
<i>Altura (mm)</i>	83	128	151	159

Con un aumento del nivel del mar, la altura de la marejada ciclónica asociada con tormentas tropicales se elevará de manera correspondiente, permitiendo que la marejada y las olas entren más lejos, tierra dentro. Esto causará una mayor erosión al borde de la playa y daño local; de hecho aumentando el impacto de las tormentas. Aunque hay mucho debate acerca de cómo los ciclones tropicales (por ejemplo, huracanes, tormentas tropicales) podrán ser afectados por el cambio climático, existe un consenso general de que estas tormentas en la cuenca atlántica podrán disminuir en frecuencia, pero aumentar en intensidad, para fines del siglo.⁴⁵ Sin embargo, Colombia no está situada dentro de la ruta de los huracanes y no está claro si esta ruta cambiará debido a los cambios en el clima.

⁴⁰ Grinsted et al., 2009.

⁴¹ Maurice et al., 2010.

⁴² IFC, 2011.

⁴³ IFC, 2011.

⁴⁴ IFC, 2011.

⁴⁵ Knutson et al., 2010.

4. Impactos del cambio climático sobre el Transporte Vial en Colombia

Esta sección presenta una evaluación de las implicaciones de los factores climáticos para la red vial del país considerando impactos, tanto observados como proyectados. La comprensión de los efectos dañinos que ya se han producido sobre la red vial de Colombia debido a factores climáticos en conjunto con el análisis de la evolución futura más probable de esos factores podrá ayudar a valorar la escala de daño potencial en años futuros. Dadas las diferentes características de cada una de las regiones de Colombia, es conveniente identificar los riesgos para el sistema de transporte por carretera del país, en cada una de las mismas. Antes de profundizar en un análisis regional detallado, se proporciona una visión general de los impactos actuales y proyectados de los factores climáticos sobre las vías de Colombia.

4.1 Visión General de Impactos

Los impactos relacionados con el clima ya han causado daños y costos considerables en Colombia y se ha identificado que los dos riesgos más significativos para el sistema vial son los derrumbes y las inundaciones⁴⁶ – las proyecciones discutidas arriba demuestran que la severidad de cada uno de estos riesgos posiblemente se volverá más intensa en los años venideros a medida que el clima cambie – sugiriendo un aumento potencial en costos y daños.

En Colombia, se reportan seis riesgos relacionados con eventos climáticos: derrumbe, erosión, incendio forestal, inundación, oleada de tormenta y sequía. De estos, solo los derrumbes y las inundaciones están registrados como un impacto demostrado sobre el sistema vial.

En esta sección se da una visión general de impactos debidos a eventos de fuertes lluvias (incluyendo inundaciones y derrumbes), aumento del nivel del mar y oleaje en período de tormentas (e inundaciones asociadas), y aumentos extremos de temperatura. También se discuten otros factores climáticos en el análisis regional. Adicionalmente, se destacan los efectos combinados del cambio climático con otros factores que pueden interactuar y conllevar a impactos sobre la infraestructura del transporte.

Fuertes Lluvias, Inundaciones y Derrumbes.



Imagen 1: Desplome del puente “El Mochilero” cerca de San José del Fragua por socavación en los estribos.

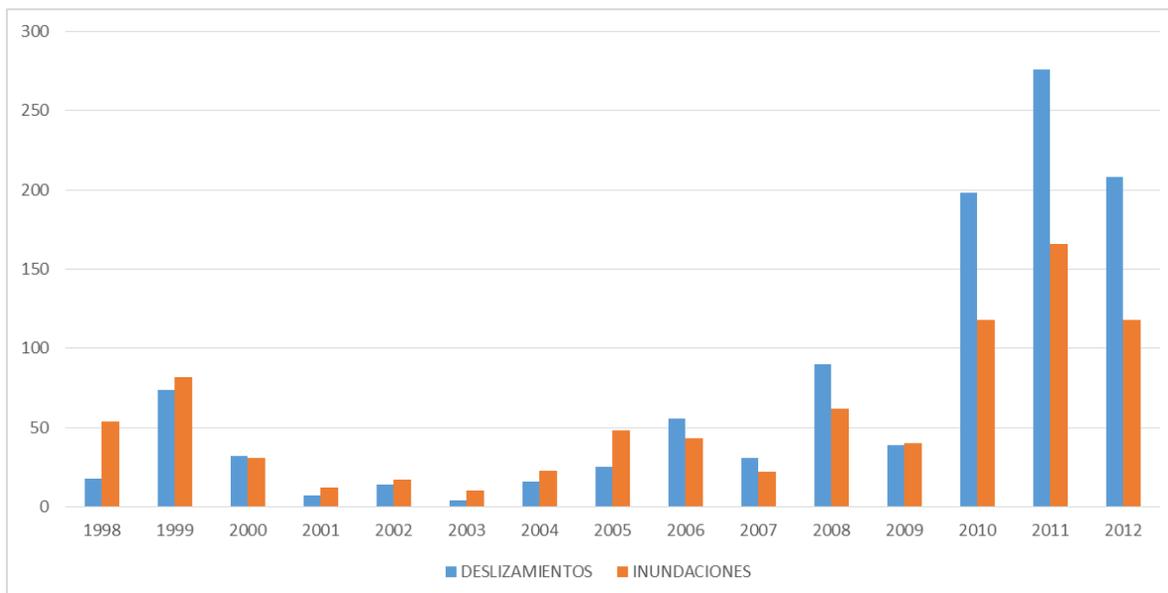
Fuente: Ministerio de Transporte, 2012a.

Las lluvias más extremas y actividad severa de tormentas – incluidos fenómenos de La Niña – desatan una serie de impactos que afectan las carreteras (ver un ejemplo más adelante). Particularmente, las inundaciones y los derrumbes causados por fuertes precipitaciones tienen serias consecuencias tanto para la seguridad humana como para las condiciones de la infraestructura (Imagen 2). Estos riesgos también se ven agravados por factores antropogénicos, tales como la deforestación y el crecimiento desproporcionado de la población. La Figura 8 presenta el número de inundaciones y derrumbes que han afectado cada año el sistema vial del país.⁴⁷ Los años recientes indican una

⁴⁶ Otras categorías de riesgos en la base de datos incluyen inundaciones repentinas (solo se registraron dos incidentes con impactos sobre el sistema vial), oleada de tormentas, avalancha, ventarrón, granizo, tronada, terremoto, erupción volcánica, incendio, accidente, explosión, desplome y varios riesgos no especificados.

⁴⁷ Los daños al sistema vial están circunscritos al impacto sobre una carretera o un puente.

correlación entre los años de La Niña de fuertes lluvias con un número mayor de derrumbes e inundaciones dañinas.⁴⁸



Gráfica 1. Deslizamientos e inundaciones anuales con afectación sobre el sistema vial (vías, puentes vehiculares y/o peatonales) Fuente: elaboración propia con base en información de la UNGRD (www.sigpad.gov.co/sigpad/noticias_detalle)

Impactos del Fenómeno de La Niña de 2010-2011⁴⁹

El Fenómeno de La Niña de 2010-2011 en Colombia demostró qué tan dañino puede ser un período lluvioso inusualmente extremo para el sistema de transporte de Colombia y los lugares más vulnerables. Este evento impactó 3.2 millones de personas, más de 874 mil hogares y 568 mil viviendas. El total de daños en esta valoración alcanza 11,2 billones de pesos equivalentes a 6.052 millones de dólares. Los sectores con mayor participación en los daños son hábitat (44%) e infraestructura (38%).

La infraestructura de Transporte de los sectores: vial, férreo, aeroportuario y aeronáutico, fluvial y portuario, se vio afectada, siendo la infraestructura vial la más impactada, con cerca del 96% de los daños (Ver Tabla No. 8)

Tabla No. 8 Consolidado daños sector

Daños en millones de Pesos	Vial	Férreo	Aero	Fluvial	Puertos	Total	Participación (%)
TOTAL	3.236.619	68.133	6.041	23.119	2.873	3.391.154	100

Los daños sobre esta infraestructura se estiman en \$417.762 millones, de los cuales \$400.352 millones corresponden a los impactos económicos al Transporte de carga por carretera, resultantes desvíos e interrupciones de tráfico; \$1.250 millones al transporte férreo; \$14.360 millones a la infraestructura Aeroportuaria y Aeronáutica y \$1.800 millones a la de Puertos.

Los departamentos que sufrieron las mayores pérdidas en el transporte de carga aparecen el la

Figura 8, los cuales concentraron pérdidas superiores al 56%.

⁴⁸ Esta primera propuesta se denominó como años de La Niña o el Niño, si al menos tres meses eran considerados anormales en el índice oceánico del El Niño, utilizando la página de Internet de pronóstico del clima de NOAA:(cpc.ncep.noaa.gov/products.analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html).

⁴⁹ Fuente de la información: Estudio CEPAL. Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia 2010-2011.

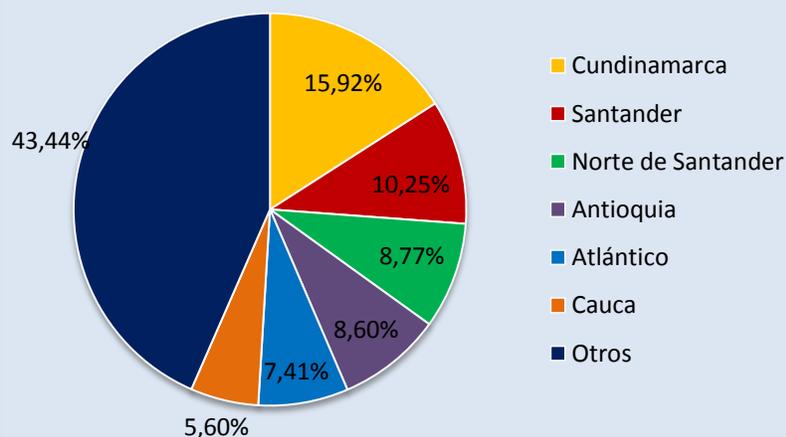


Figura 8: Porcentaje por departamentos de las pérdidas en transporte de carga causadas por los desastres de diciembre-febrero en el fenómeno de La Niña de 2010-2011.⁵⁰

La Figura 9 muestra el número de inundaciones y los segmentos de carreteras y puentes afectados por las inundaciones, por región. Desde 1998 hasta 2013, la mayoría de las inundaciones (alrededor del 70%) y los daños al sistema vial ocurrieron en la Región Andina.

La Figura 10 muestra áreas históricamente susceptibles a inundaciones y proyecciones de áreas vulnerables a precipitaciones fuertes hasta el año 2040 para los meses de marzo a mayo. Los corredores expuestos a este riesgo incluirían la Troncal del Magdalena, y la Marginal de la Selva (que afecta zonas como el área metropolitana de Bogotá y los piedemonte Llanero y Amazónico), lo cual es consecuente con la experiencia del fenómeno de la Niña 2010-2011, en el que muchas de estas zonas presentaron inundaciones. El sistema vial de la Región Caribe, sería susceptible especialmente en las vías de conexión entre Antioquia y Córdoba y las de departamentos como Cesar, Magdalena y Bolívar.



Imagen 3: Inundaciones del Río Bogotá en la Autopista Norte hacia Chía. Fuente: Ministerio Transporte, 2012a.

⁵⁰ Fuente de la información: Estudio CEPAL. Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia 2010-2011.

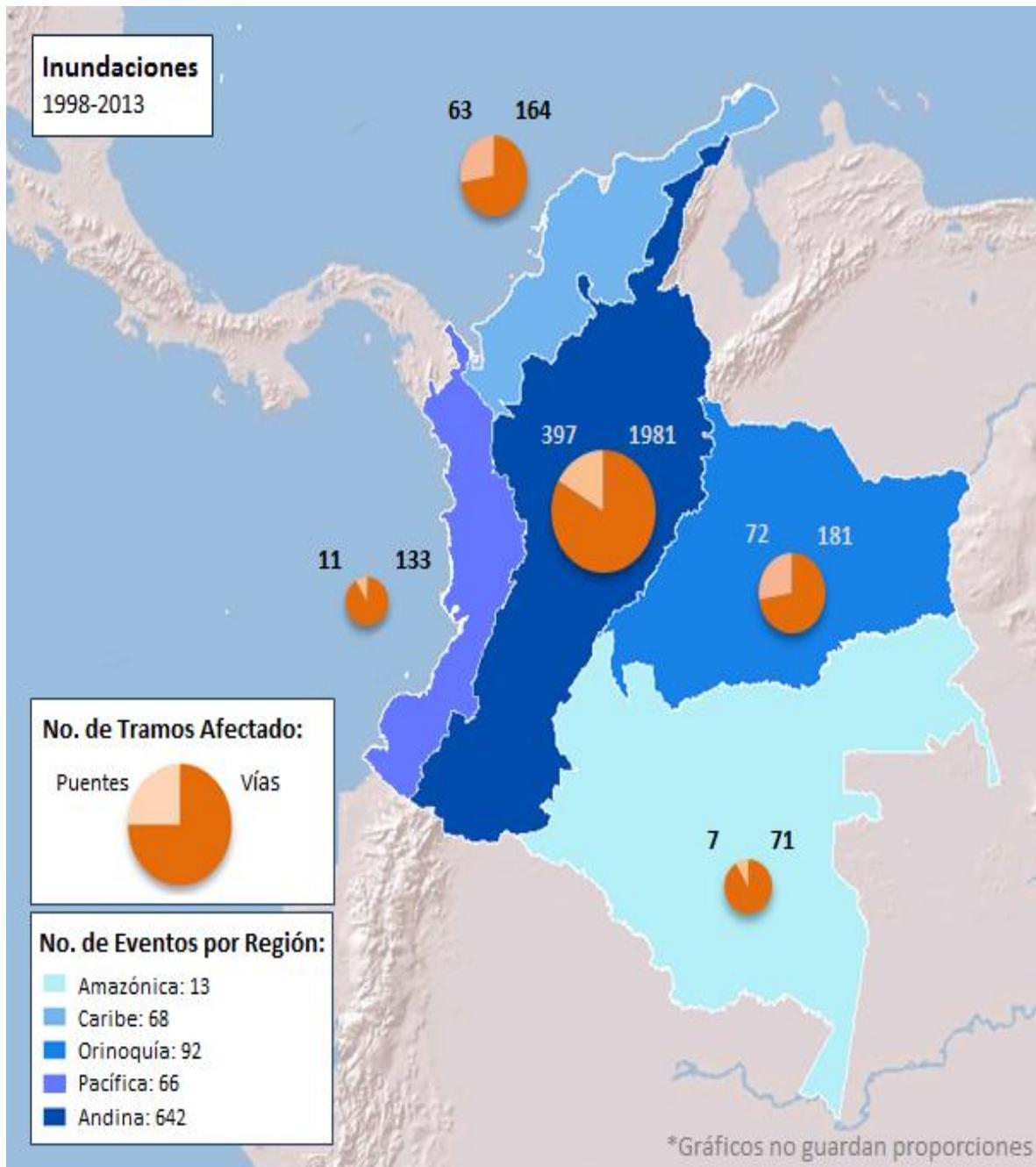


Figura 9: Número de inundaciones y segmentos de carreteras y puentes afectados, por región climática, con base en los análisis de datos del ICF de acuerdo a los datos facilitados por la UNGRD.⁵¹

De igual forma, se tienen zonas de inundación periódica para las que se deben articular las decisiones del sector con todo el tema de ordenamiento del territorio buscando que la infraestructura de transporte apoye el desarrollo sostenible de esas regiones (región de la Mojana).

⁵¹ UNGRD, 2013.

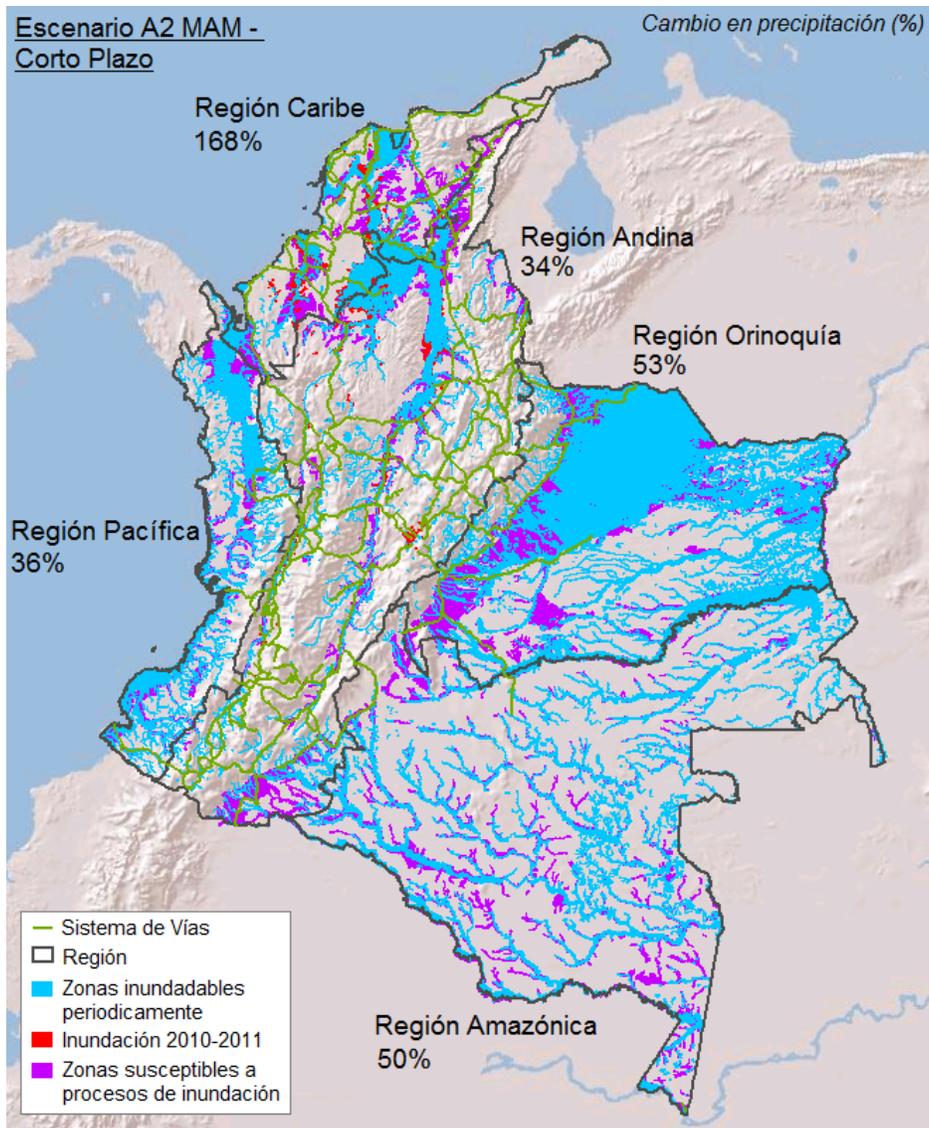


Figura 10: Sistema vial primario, susceptibilidad a inundaciones y cambio en las precipitaciones a corto plazo en marzo-abril-mayo para cada una de las cinco regiones naturales para los escenarios de emisiones moderadamente-altas (A2). (Fuentes: Datos de inundaciones -IDEAM, IGAC y DANE. Los porcentajes de precipitaciones se basan en análisis de datos de WCRP CMIP3).

Debido a las altas precipitaciones anuales, la topografía montañosa y las actividades sísmicas y volcánicas, los derrumbes y deslizamientos son un riesgo mayor para el sistema vial. Los derrumbes se volverían predominantes con el aumento en la intensidad de las precipitaciones, generando un incremento en los cierres de carreteras, demoras y daños costosos a la infraestructura. De manera general, la mayoría de los derrumbes con impactos sobre el sistema vial, han ocurrido históricamente en la Región Andina, y la tercera parte de todos los eventos riesgosos en esa región se concentran entre marzo y mayo. En contraste, la Región Caribe experimenta más derrumbes en el período septiembre-noviembre. De manera similar, la mayoría de los derrumbes (alrededor del 90%) y daños en las carreteras y puentes entre 1998 y 2013, ocurrieron en la Región Andina (ver Figura 11).

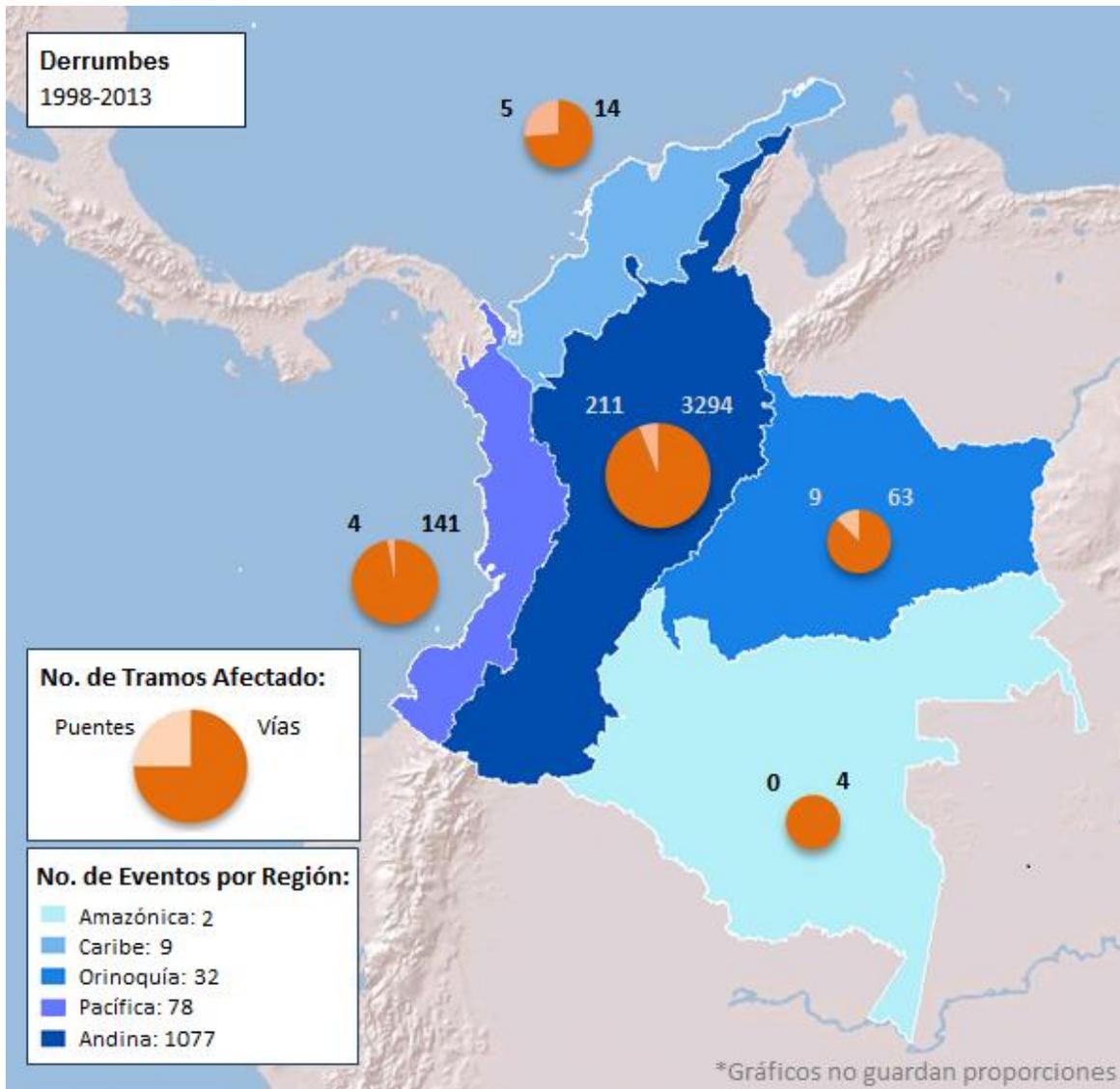


Figura 11: Número de derrumbes y segmentos de carreteras y puentes afectados, por región climática, con base en el análisis de datos del ICF de acuerdo a los datos facilitados por la UNGR.⁵²

La Figura 12 muestra una extensión de áreas históricamente susceptibles a derrumbes y proyecciones de áreas vulnerables a eventos de fuertes precipitaciones e inundaciones hasta el año 2040 (bajo el escenario A2). Aunque se proyecta que todas las regiones bajo este escenario experimentarán mayores precipitaciones, y que teóricamente podrían aumentar la amenaza de derrumbes, la lluvia no será el único factor limitante; otros factores críticos, tales como la topografía y la ocupación de suelos se deben considerar. Sin embargo y dado que la Región Andina enfrenta el mayor riesgo de derrumbes, este análisis cualitativo indica que el riesgo de derrumbes podría aumentar.⁵³ Varias vías primarias que conectan la Troncal del Magdalena con la del Occidente, ubicadas en Santander, Cundinamarca y Tolima⁵⁴, se enfrentan a este riesgo en la categoría de muy alto. Sin embargo, de la Figura 12 puede

⁵² UNGRD, 2013.

⁵³ See ICF (2013) for description and caveats associated with this analysis.

⁵⁴ Transversal del Carare (Barbosa-Puerto Araujo) en Santander, Honda – Villeta en Cundinamarca y Bogotá Girardot, hacia Tolima.

observarse que, en general el sistema vial de la región Andina (troncales de Occidente, Magdalena, Central y Central del Norte e, incluso, la Marginal de la Selva y sus zonas aledañas) presentan riesgos altos de derrumbe, especialmente en el centro y norte del país. En la región Caribe estos riesgos se concentran en la red vial del Magdalena y Cesar.

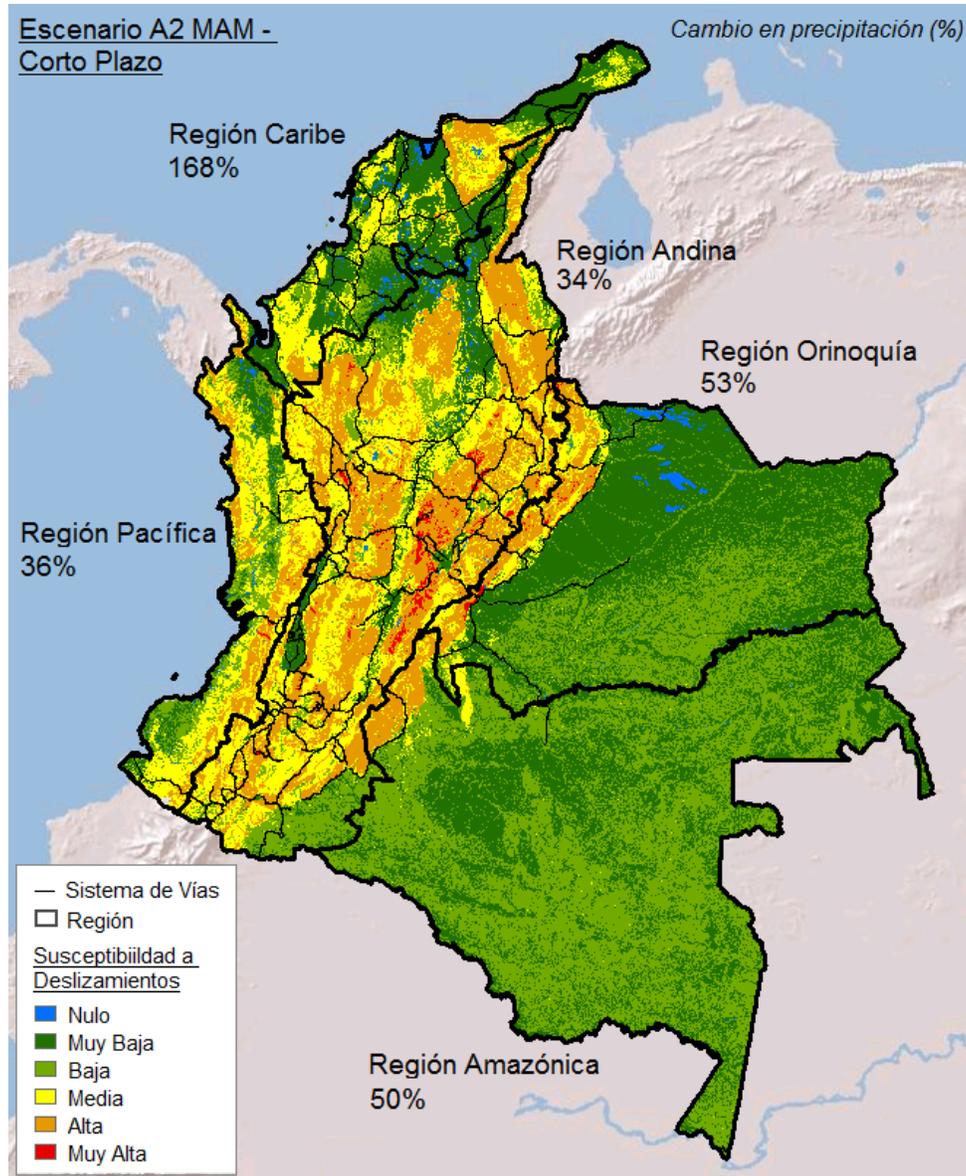


Figura 12: Sistema vial primario, susceptibilidad a derrumbes y cambio en las precipitaciones (%) a corto plazo en marzo-abril-mayo para cada una de las cinco regiones naturales, en condiciones de emisiones moderadamente altas (A2). (Fuentes: Datos de derrumbes -desarrollada en forma conjunta por el IDEAM y el Servicio Geológico Colombiano (SGC). Los porcentajes de precipitación se basan en el análisis de datos del Programa Mundial de Investigación del Clima -WCRP CMIP3).

Impactos asociados con el aumento del nivel del mar y las marejadas ciclónicas. Se calcula que un aumento del nivel del mar de 1 metro podría afectar de 1.4 hasta 1.7 millones de personas en Colombia.⁵⁵ Actualmente, alrededor del 45% de la infraestructura de la red vial es sumamente

⁵⁵ IDEAM, 2010.

vulnerable a las inundaciones⁵⁶, asociadas con aumentos en el nivel del mar. Se prevé que, con el aumento del nivel del mar, la altura de la marejada ciclónica asociada a tormentas tropicales aumentará de manera correspondientemente, lo que hace que la marea y las olas se desplacen más lejos, tierra adentro por lo algunas carreteras de baja altitud, pueden verse afectados por las inundaciones, causando cierres en las vías y retrasos en el tráfico, además aumentaría el riesgo de erosión en las banquetas de las carreteras y debilitamiento de los soportes de los puentes causarían daños en la infraestructura.

Impactos asociados con el aumento de las temperaturas y los extremos térmicos. El aumento de las temperaturas y los extremos térmicos puede tener un impacto sobre los sistemas viales, afectando los materiales el comportamiento de los materiales del pavimento. De igual forma, las condiciones ambientales que afectan las carreteras pueden afectar el ritmo de crecimiento de la vegetación; deteniendo el crecimiento de aquella utilizada para el control de la erosión o aumentando la presencia de vegetación acuática invasiva que puede obstruir los sistemas de drenaje.

Múltiples factores climáticos y vulnerabilidades

Es importante reconocer los efectos combinados del cambio climático cuando se desarrollan los planes para la ubicación, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de las carreteras del país. La combinación de precipitaciones más intensas y el aumento del nivel del mar pueden provocar inundaciones costeras aún más graves. En el caso de las tormentas costeras con marejada ciclónica, el aumento del nivel del mar puede exacerbar los impactos. Los efectos inmediatos incluyen la inundación de la infraestructura, impidiendo que esta pueda utilizarse temporalmente hasta que la inundación retroceda o hasta que se repare o se remplace la misma. El impacto a largo plazo de las inundaciones de agua salada puede incluir la corrosión de los soportes estructurales y de los equipos eléctricos en funcionamiento. En cualquier tipo de inundación (de agua dulce o salada), el desgaste y la erosión pueden destruir las estructuras de apoyo naturales y aquellas hechas por el hombre.



Imagen 2: Carretera colapsada por erosión entre Bucaramanga y Barrancabermeja. Fuente: Ministerio de

Además, los efectos combinados del cambio climático y otros factores de cambio son importantes para la planificación del transporte. Por ejemplo, los cambios demográficos y del uso de suelos, en combinación con el cambio climático, podrían exacerbar la vulnerabilidad existente. La pérdida de vegetación a través de la deforestación puede aumentar la susceptibilidad de los suelos a la erosión (Figura 16), estimulando la ocurrencia de derrumbes y aumentando la sedimentación en los ríos. Además, a medida que aumenta la población, el impacto urbano va creciendo, aumentando las superficies impermeables y ejerciendo presiones cada vez mayores sobre los sistemas de drenaje existentes.

⁵⁶ IDEAM, 2010.

El proceso de adaptación del sistema de transporte vial debe considerar, la importancia de la vía en el desarrollo de la zona, por lo que deberán priorizarse las medidas de adaptación en aquellos tramos viales donde (1) la calzada presta servicio a municipios con poblaciones altas (y en crecimiento), y (2) la carretera se encuentra en una región donde se prevé un aumento en los eventos de precipitación intensa.

4.2 Análisis Regional

En esta sección, la información se presenta en un contexto regional. Esto proporciona a los planificadores del sector de transporte la información pertinente y analiza de manera concisa los elementos clave para enfocar sus esfuerzos futuros en materia de evaluación de la vulnerabilidad y de adaptación. Para cada región, el análisis comienza con una visión general de la geografía, la economía y la población de la zona. A esto le sigue una breve descripción de la infraestructura y los servicios de transporte de la región, enfocada en la red vial, pero también menciona otra infraestructura modal importante, como aeropuertos, líneas ferroviarias y puertos. Luego, el análisis resume los impactos clave relacionados con el clima en el transporte vial, abordando primero los riesgos actuales, y luego pasando a los posibles impactos futuros del cambio climático y la variabilidad climática.

4.2.1 Región Andina

Dado que la Región Andina cuenta con la población y la economía más grandes, allí también se encuentra la mayor parte del sistema de transporte vial de Colombia. Los riesgos de derrumbes e inundaciones asociados a eventos por lluvias intensas son más comunes en los meses de marzo a mayo, seguidos por diciembre a febrero, septiembre a noviembre, y junio a agosto.⁵⁷

Las inundaciones y derrumbes causan daños que requieren reparaciones costosas, y también interrumpen y afectan el transporte de pasajeros y el movimiento de mercancías, en el recuadro puede apreciarse un ejemplo para el departamento de Antioquia. Otro ejemplo es la carretera entre Bogotá y el puerto de Buenaventura, donde los recurrentes derrumbes hacen que la vía no pueda operar a plena capacidad. Estas interrupciones causan daños a la infraestructura y también obligan a tomar extensos desvíos, con pérdidas comerciales estimadas de USD \$5 millones por día.⁵⁸

Panorama de los costos de reparación en el Departamento de Antioquia

Los riesgos de inundaciones, derrumbes y erosión pueden resultar costosos y afectar los patrones de tránsito durante meses. La Tabla 9 presenta una selección de los efectos financieros de eventos climáticos de 2008 en Antioquia, que impactaron las carreteras en Colombia. Las reparaciones más costosas en 2008 estaban asociadas con derrumbes donde se había producido erosión.

⁵⁷ Estas comparaciones de períodos de tres meses se utilizan para un análisis consistente entre las condiciones y los impactos pasados y futuros. Una de las formas en que la comunidad del clima analiza las condiciones futuras es a través de promedios y totales de períodos de tres meses; estas comparaciones de períodos de tres meses no representan las estaciones húmedas / secas de Colombia, que varían según la región.

⁵⁸ Agrimoney.com, 2011.

Tabla 9: Corredores que se vieron afectados en 2008 por diversas situaciones de riesgo (TPD = tránsito promedio diario).⁵⁹

Corredores	TPD 2008	% TPD camiones	km	% km afectados	Tipo de obra	Plazos en meses	Inversión estimada (millones de pesos)
Inundaciones							
Los llanos - Taraza - Caucasia 2511, 2512 (Medellín - Caucasia)	2779	59%	188	20%	Muros, control de la erosión, terraplenes, estructuras hidráulicas	8	8000
Derrumbes							
La Mansa - Primavera 6003 (Medellín - Quibdó)	1175	20%	94	70%	Estabilidad de taludes, obras de drenaje	6	25000
Derrumbes / erosión							
Chogorodo -Dabeiba - Santa Fe de Antioquia 6202, 6203 (Medellín - Turbo)	599	42%	223	40%	Muros, drenaje, estabilidad de taludes	6	33000
Bolombolo - Santa Fe de Antioquia 25B02	405	18%	73	90%	Muros, estabilidad de taludes, estructuras hidráulicas para control de la erosión	3	35000
Erosión, resquebrajamiento de puentes							
Cisnero Cruce Ruta 45 Puerto Olaya 6206 (Medellín - Puerto Berrio)	1776	31%	153	20%	Muros, obras de drenaje, control de erosión	8	18000

En general, se prevé que la Región Andina experimentará un clima más cálido y húmedo en el futuro, en particular en el período comprendido entre marzo y mayo. Esto plantea preocupaciones importantes para el transporte en esta región muy poblada y económicamente activa:

- **La planificación para la construcción y las operaciones de las concesiones y las carreteras públicas hasta el 2040 deberá tener en cuenta los posibles aumentos en la intensidad y frecuencia de las inundaciones y de los derrumbes.** El análisis prevé que es posible que las lluvias, para los escenarios de emisiones bajas y altas, aumente en los períodos en que las inundaciones y los derrumbes ya son muy frecuentes. Además, también se prevé que la intensidad de las lluvias más fuertes aumente de uno a cinco por ciento. Estos impactos merecen una consideración para la ubicación, el diseño y las operaciones de transporte por carretera en la Región Andina.⁶⁰ Esto también podría afectar potencialmente el transporte fluvial en los ríos Magdalena y Cauca, si la altura de los puentes no proporcionan el gálibo suficiente, o no están diseñados para soportar una escorrentía mayor.

⁵⁹ INVIAS, 2013.

⁶⁰ Estos períodos de tres meses se superponen con la temporada "húmeda" en la Región Andina (es decir, de abril a junio; de septiembre a noviembre).

- **La continua deforestación en la Región Andina podría contribuir a una mayor erosión y a la desestabilización de taludes, provocando derrumbes.** Si bien los datos indican que la tasa de deforestación ha disminuido, cerca de 435.000 hectáreas de tierra fueron deforestadas en el período entre 2005 - 2010. La preservación de los bosques, especialmente en las zonas en que se planea construir nuevas carreteras, podría ayudar a reducir el potencial de derrumbes y reducir los costos de construcción. Además, la restricción a las actividades humanas en estas áreas susceptibles puede reducir los efectos de los derrumbes en la población y en los bienes.
- **Dada la gran población e importancia económica de la Región Andina, debe ser una alta prioridad realizar un examen más detallado de estos impactos en la planificación, el desarrollo y las operaciones de los medios de transporte actuales y futuros, especialmente en el sistema vial.** A menos que sean abordados, los efectos del cambio climático hasta 2040 pueden causar graves interrupciones en el sistema de transporte, reduciendo la actividad económica y la calidad de vida.

Los cambios potenciales en el desarrollo de la Región Andina podrían tanto exacerbar como mitigar algunos de los riesgos climáticos. Por ejemplo, el desarrollo no regulado en las laderas de las montañas podría desestabilizar más los taludes y contribuir a los derrumbes y deslizamientos de tierra. El crecimiento de la población podría seguir siendo un factor de estrés en las cuencas hidrográficas y los sistemas de drenaje y aumentar la frecuencia de las inundaciones, ubicando al mismo tiempo a más personas en zonas propensas a las inundaciones. El desarrollo futuro en áreas susceptibles aumentaría la cantidad de segmentos de carretera expuestos a estos riesgos. Sin embargo, el desarrollo también podría aliviar algunas de las tensiones que plantean los riesgos naturales. Por ejemplo, el desarrollo de nuevas vías podría implicar existencia de alternativas en el sistema de transporte y permitiría que las mercancías y las personas siguieran transportándose, incluso si ciertas vías están cerradas.

4.2.2 Región Caribe

En la región del Caribe se encuentran algunos de los puertos marítimos más importantes de Colombia, incluyendo los puertos de Cartagena, Barranquilla, Bolívar, Mamonal, Santa Marta y Coveñas, por lo que la conexión con esta región a través de carreteras y ferrocarriles que faciliten el transporte de mercancías desde los centros de producción, es de vital importancia para el buen funcionamiento económico del país.

La infraestructura de transporte en la región Caribe es vulnerable a una gran variedad de riesgos naturales, incluyendo las inundaciones, las marejadas ciclónicas, y la erosión. Hay algunos casos de derrumbes concentrados en Magdalena y Cesar, pero en general, la topografía de la región está conformada por planicies en las tierras bajas. Las inundaciones son, entonces la principal preocupación en la región. Entre 1998 y 2013, hubo 68 inundaciones que causaron daños a la infraestructura vial.⁶¹ La mayoría de las inundaciones en esta región se producen a partir de septiembre-noviembre, y se superponen con los últimos 3 meses de la temporada lluviosa.

Además de los factores climáticos, los riesgos por fenómenos naturales en la región Caribe están influenciados por una serie de factores antropogénicos. Desde 1993 hasta 2005 se ha presentado un alto crecimiento demográfico a lo largo de la línea costera, lo cual han llevado a la eliminación de las barreras naturales contra las inundaciones y la erosión, como son los manglares. Además, el crecimiento

⁶¹ UNGRD, 2013.

demográfico y la presión que este implica sobre los sistemas de drenaje en las áreas urbanas resultan en un aumento de los daños causados por las inundaciones. La región Caribe también ha experimentado procesos de deforestación entre 1990 y 2010; sin embargo, esta región no es tan arbolada en comparación con las regiones Andina y Amazónica y por lo tanto puede ser más relevante considerarlo como un factor localizado.⁶² Una revisión de los problemas relacionados con los efectos del cambio climático en la Región Caribe muestra lo siguiente:

- **El aumento del nivel del mar, combinado con marejada ciclónica, y la destrucción de los manglares, puede aumentar el número, la intensidad y el impacto de las inundaciones costeras en las carreteras y puertos en las zonas de la Región Caribe, que ya son propensas a las inundaciones.** El aumento del nivel del mar varía según el área, pero se espera que aumente en promedio, a nivel mundial, entre 0.5 y 2.0 metros para el final del siglo. La Primera Comunicación Nacional de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) indica que el 45% de las redes viales de la costa del Caribe son muy vulnerables, el 5% son moderadamente vulnerables, y el 23% son poco vulnerables al aumento de un metro en el nivel del mar.⁶³ Las inundaciones también van a intensificar la erosión costera, especialmente en áreas donde se han eliminado las barreras naturales como los manglares.⁶⁴ Los puertos y sus conexiones por carretera y ferrocarril para el transporte hacia y desde el interior, han demostrado ser ya vulnerables a las inundaciones, que a largo plazo, podrían amenazar la vitalidad económica de las operaciones portuarias y reducir la actividad económica. Se debe realizar un examen cuidadoso de los riesgos a los que están expuestas las carreteras y los puertos existentes y planificados. El monitoreo continuo de los niveles del mar, de las inundaciones, de las condiciones de las carreteras y de las operaciones portuarias ayudará a identificar umbrales críticos en los que puede ser necesaria una intervención.
- **El aumento de las temperaturas puede incrementar los costos de mantenimiento de las carreteras y los puentes, y podrían generar falencias en la infraestructura.** En el corto plazo, los modelos climáticos prevén que la temperatura aumentará alrededor de 1°C a lo largo de todo el año en la región Caribe, donde las temperaturas promedio anuales ya están entre las más altas en Colombia (> 24°C). Con el aumento de las temperaturas promedio, se espera que sean mayores la intensidad y la cantidad de extremos de temperatura. Mientras que la temperatura en la actualidad no representa un peligro identificado para el sistema de transporte en la región, los fenómenos de calor extremo en el futuro pueden hacer que los materiales de la pavimentación se deformen, se expandan y se agrieten, causando la interrupción en el servicio. Además, los materiales de los puentes que no fueron diseñados para soportar largos períodos de calor intenso pueden debilitarse o fallar. Como resultado, puede ser necesario un mantenimiento adicional de las superficies de las carreteras y de los componentes de los puentes, por lo que un programa especial de monitoreo sobre estos factores puede justificarse en esta región, y especialmente en las vías que accedan a los puertos marítimos.
- **Los cambios en la incidencia y en la intensidad de las inundaciones tierra adentro no son claras en la Región Caribe y merecen un monitoreo más preciso.** Históricamente, las inundaciones han ocurrido principalmente en el período de septiembre - noviembre, donde se espera que las lluvias aumenten, junto con el período marzo - mayo. Con base en esta

⁶² IGAC, 2013.

⁶³ IDEAM, 2010.

⁶⁴ Cardoso and Benhin, 2003.

información, la región Caribe podría sufrir más inundaciones en el período de marzo - mayo y, potencialmente también en el período de septiembre a noviembre. Sin embargo, se prevé que disminuyan el número de eventos extremos de precipitación y la intensidad a corto plazo del peor evento por año, reduciendo así la susceptibilidad a inundaciones extremas y derrumbes en la región, lo que justificaría realizar un análisis específico y detallado de estas proyecciones en la región, así como un programa de monitoreo.

- **El crecimiento demográfico, junto con la disminución de los manglares y de otras protecciones naturales por presión del desarrollo podrían acelerar la erosión, aumentar las inundaciones, e interrumpir algunos servicios de transporte.** Se prevé que la población en el Caribe seguirá creciendo para 2020. Las zonas del norte han sufrido una erosión severa en las últimas décadas, en parte debido a las actividades mineras, y es probable que veamos una erosión mayor debido al aumento del nivel del mar. En la actualidad, sólo hay una carretera principal en estas áreas, por lo que la construcción de nuevas vías para abastecer a una población cada vez mayor, debe considerar estas proyecciones de inundación (tanto por precipitaciones como por aumento del nivel del mar) con el fin de no aumentar la vulnerabilidad del sistema. Por otra parte, la reducción de los manglares, que están cada vez más amenazados por el aumento del nivel del mar, puede agravar aún más la vulnerabilidad del Caribe costero frente a los efectos de la erosión y de las inundaciones. Se pueden explorar esfuerzos para disminuir estos impactos en la región por crecimiento demográfico y al desarrollo, a través de gestión del territorio y cuerpos hídricos, esfuerzo que debe coordinarse a nivel sectorial y regional.

4.2.3 Región de la Orinoquía

El fuerte potencial económico de esta región puede verse estimulado a través del planeamiento de nueva infraestructura de transporte que permita la movilización de mercancías. Algunas conexiones viales importantes para la Orinoquia no se encuentran pavimentadas, dificultando su uso en periodos de lluvias haciendo que el transporte fluvial cobre importancia.

Los principales tipos de desastres naturales en esta región son los incendios forestales y las inundaciones estimulados por los procesos erosivos. Las inundaciones fluviales (ribereñas) y las sequías, representan un gran desafío para la región de la Orinoquía:

Entre 1998 y 2013, la infraestructura de carreteras y puentes de la región se vio afectada por inundaciones en 90 ocasiones y por deslizamientos de tierra en 31 ocasiones. Las inundaciones y derrumbes en esta región son más comunes durante junio-agosto y marzo-mayo (época de lluvias), que es cuando se produce la mayor parte de la destrucción de la infraestructura vial.

En las laderas, la expansión de la agricultura ha llevado a la deforestación. La agricultura de tala y quema se lleva a cabo desde diciembre hasta febrero y es una de las principales causas de incendios forestales; la mayoría de los incendios en la región de Los Llanos se debe a la agricultura de tala y quema.⁶⁵ Varios factores socioeconómicos e institucionales también pueden exacerbar los riesgos por fenómenos naturales en la región de la Orinoquía.

⁶⁵ Armenterasa, 2005.

El análisis indica lo siguiente:

- **El incremento de los eventos de calor en la Orinoquía podrían generar una mayor necesidad de mantenimiento y perturbar las operaciones de tráfico.** Las temperaturas anuales promedio en la Orinoquía suelen ser superiores a 24°C y pueden alcanzar los 30°C. Se prevé que las temperaturas medias anuales en la región de la Orinoquía aumenten tanto en el corto plazo como en el mediano plazo. Los días muy cálidos pueden aumentar la presión sobre las carreteras pavimentadas con asfalto, lo que resulta en la formación de hundimientos, ondulaciones y otros daños en la superficie de la carretera. Los días muy cálidos durante la estación seca también podrían aumentar el riesgo de incendios forestales, lo que podría retrasar el tránsito por carretera. El examen detallado de calor extremo en esta región, junto con la supervisión rutinaria de las condiciones de las carreteras y la pavimentación, ayudaría a evaluar la necesidad de una intervención directa.
- **Las interrupciones del transporte por carretera en la Región de la Orinoquía podrían aumentar debido a inundaciones y derrumbes, alterando el transporte de carga.** Se prevé que haya un aumento en las lluvias durante marzo a agosto, lo que indica una intensificación potencial de inundaciones y derrumbes. Además, se prevé que los eventos de lluvia intensa sean cada vez más frecuentes, con un aumento potencial de hasta un 8%. El número de conexiones viales con drenajes deficientes pueden hacer que el sistema sea más vulnerable a inundaciones. Por esta razón, se requiere examinar alternativas de drenaje eficientes para carreteras de bajo tráfico, en coordinación con las autoridades regionales competentes en estas vías.
- **La abrasión severa de los puentes por las inundaciones fluviales podría requerir reparaciones extensas, el cierre de carreteras, e incluso el reemplazo de puentes.** La infraestructura de puentes, que es escasa en la región, pueden enfrentar un futuro de mayor escorrentía debido al aumento de las precipitaciones y las fuertes lluvias por lo que una revisión detallada de gálibos e infraestructura estaría justificada en esta región.

4.2.4 Región Pacífica

La región Pacífica cuenta con importantes puertos marítimos como el de Tumaco y Buenaventura, siendo este último el principal puerto de importación del país y la entrada natural a los mercados de Asia. Sin embargo, los medios de transporte terrestre son escasos en el Pacífico: en general, la región representa sólo el 4% del total de las vías primarias del país y el 3% de los puentes. La Troncal de Occidente que concentra alrededor del 30% del transporte de pasajeros y mercancías del país y conecta de sur a norte el país, no cuenta con conexiones terrestres hacia la costa pacífica, situación que se debe, en parte a las condiciones ambientales de la región.

Dado que la región Pacífica es una región costera con uno de los índices de lluvias más altos del mundo, es vulnerable a una variedad de riesgos naturales, incluyendo derrumbes, inundaciones, aumento del nivel del mar y marejada ciclónica. Entre 1998 y 2013, se registraron en la región 78 derrumbes con impactos en el sistema vial. Los derrumbes son más comunes entre marzo y mayo, seguidos de septiembre a noviembre, diciembre a febrero, y de junio a agosto. Mientras tanto, desde 1998 hasta 2013, se registraron un total de 66 inundaciones que causaron daños en la infraestructura vial. Las inundaciones son más frecuentes entre marzo y mayo. Los altos niveles de precipitaciones anuales (6.000-7.000 mm al año) también han limitado las horas de operación en el puerto de Buenaventura. Las

condiciones lluviosas han causado retrasos en la descarga de los barcos y han afectado la reputación del puerto, causando pérdidas comerciales.⁶⁶

Debido a que su población y su crecimiento económico son relativamente bajos, la región Pacífica se enfrenta a una menor presión de los factores antropogénicos en comparación con otras regiones de Colombia. El crecimiento demográfico fue mínimo para la mayor parte de la región entre 1993 y 2005, a excepción de las áreas alrededor de Buenaventura y Tumaco⁶⁷. Hubo deforestación entre 1990 y 2010, pero en general la región sigue siendo muy boscosa. Hay poco o ningún indicio de la erosión a lo largo de la costa del Pacífico⁶⁸.

- **Las inundaciones y los derrumbes seguirán interrumpiendo las operaciones viales a menos que se tomen medidas correctivas.** Dado que la región Pacífica ya tiene uno de los índices más altos de lluvias en el mundo, el aumento de precipitación previsto afecta esas interrupciones de manera significativa. En septiembre-noviembre y marzo-mayo, que son los períodos en los cuales ya se producen la gran mayoría de inundaciones y derrumbes, las precipitaciones trimestrales en el corto plazo podrían duplicarse en el período de septiembre - noviembre, y hasta en un 36% desde marzo hasta mayo. El número de eventos de lluvia intensa por año podría aumentar entre un 4-8%. La intensidad de los peores eventos podría aumentar entre 1-5% por ciento. Abordar estas cuestiones será esencial, dada la posible importancia estratégica de mantener el servicio de la Transversal Bogotá – Buenaventura y del corredor Tumaco – Mocoa.
- **El aumento del nivel del mar podría representar una amenaza cada vez mayor para el transporte hacia y desde los puertos importantes y para las carreteras de conexión en el Pacífico.** Se estima que los niveles del mar aumentarán en 0,6 metros a lo largo de la costa del Pacífico entre 2050 y 2060 en comparación con el promedio entre 1961-1990.⁶⁹ De los aproximadamente 462.457 habitantes en la costa del Pacífico, IDEAM proyecta que el 41% estaría en riesgo directo de inundaciones debido al aumento del nivel del mar. Es preciso examinar las instalaciones portuarias, incluidas las conexiones viales hacia el interior, en busca de vulnerabilidades para evaluar mejor la necesidad de una acción correctiva.

Mientras que la región Pacífica es actualmente una región escasamente habitada, se prevé que la población siga creciendo. Además, dado que Colombia desarrolla cada vez más sus actividades comerciales con los países de Asia, el Pacífico puede experimentar un auge económico en el futuro, con consecuencias potenciales para el medio ambiente. Si se eliminan las barreras naturales como los manglares, por ejemplo, la región va a estar en un mayor riesgo de inundaciones costeras y erosión por el aumento del nivel del mar y las marejadas ciclónicas.

4.2.5 Región Amazónica

La población del Amazonas cuenta con una malla vial muy limitada, por lo tanto el transporte aéreo y fluvial es más importante. Las condiciones de la región - incluyendo la alta humedad, las cuencas fluviales complejas, y los ecosistemas frágiles - hacen que la construcción de carreteras sea

⁶⁶ IFC, 2011.

⁶⁷ DANE, 2011.

⁶⁸ IGAC, 2013.

⁶⁹ Catarious and Espach, 2009.

extremadamente difícil. La región cuenta solo con el 2% de las vías primarias del país, no hay ferrocarriles ni puentes, el 11% de sus aeropuertos, y el 28% de sus muelles. Estas cifras ponen de manifiesto la dependencia del transporte fluvial y aéreo de esta región.

Aunque esta región tiene cierta susceptibilidad a inundaciones, tiene un número mínimo de estos eventos registrados que hayan afectado carreteras y puentes, dada su escasa existencia. El riesgo asociado al transporte, deben estudiarse desde la perspectiva de estos modos de transporte usados en la región; sin embargo, se relacionan algunos elementos relacionados con los efectos del cambio climático en el transporte vial:

- **Es probable que aumenten las inundaciones:** En el período 1998 – 2013, solo se registraron 9 inundaciones que afectaron las carreteras. Las precipitaciones durante el período de marzo – mayo, propenso a inundaciones, podrían aumentar en un 50% en el corto plazo. Además, el número de eventos climáticos extremos podría aumentar por más de un 10% y la intensidad de eventos podría aumentar entre 3-5%. En general, se prevé que las precipitaciones por temporadas cambien, con septiembre-noviembre experimentando el mayor aumento de lluvias después de un período potencialmente más seco de junio a agosto, incrementando la probabilidad de inundaciones y derrumbes en esta época del año.
- **El impacto de las inundaciones en 20 puertos y 20 aeropuertos de la Región podría ser significativamente mayor.** Estas instalaciones pueden verse afectadas, en particular, si el sistema de drenaje no es suficiente para soportar las fuertes precipitaciones. Un estudio adicional específico puede justificarse.

Los factores antropogénicos son significativos en la región Amazónica, con una tendencia cada vez mayor a la deforestación. Entre 1990 y 2010, la cobertura forestal pasó de 41.9 millones de hectáreas (ha) de bosques en la región, a cerca de 39.8 millones de hectáreas (ha), lo que representa una reducción del 5% en un periodo de 20 años.⁷⁰ Las actividades continuas de deforestación podrían afectar la protección natural de la región contra los derrumbes. Si la deforestación continúa al ritmo actual, para el año 2040 puede haber una reducción adicional de la cobertura forestal de alrededor de 2.9 millones de hectáreas de las condiciones de 2010 y para 2070, una reducción de alrededor de 2,8 millones de hectáreas.

Esta reducción de la vegetación puede reducir la estabilidad a lo largo de las laderas limitadas de la región Amazónica, aumentar la erosión y aumentar la escorrentía, incrementando, por lo tanto, la amenaza de inundaciones y derrumbes. Sin embargo, la región es en gran parte despoblada en comparación con otras regiones de Colombia, lo que sugiere que el desarrollo humano ha jugado un papel relativamente menor en la contribución al impacto de los derrumbes e inundaciones. Una excepción se encuentra en la parte noroeste, donde se encuentran los departamentos más poblados.

⁷⁰ IDEAM, 2011b.

5 Acuerdos institucionales

Los efectos del cambio climático requerirán modificaciones en la forma en que se desarrollan e implementan la planificación, los programas y los proyectos en Colombia. Dada la magnitud de las vulnerabilidades existentes y el potencial para que se den más y más intensos efectos adversos, el reto debe abordarse gradualmente. El Departamento de Planeación Nacional ha reconocido esta necesidad de ampliar la capacidad institucional en su *Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia* (CONPES 3700)⁷¹ que establece que, a la luz de los impactos climáticos significativos, "la creación de un sistema de acuerdos institucionales que definan los requisitos para la generación de información para la toma de decisiones y la gestión del riesgo ... es una prioridad".

Serán necesarias nuevas formas para trabajar en conjunto para construir capacidad, y para encontrar los recursos necesarios para abordar los impactos del clima. Las entidades de transporte más importantes (Ministerio de Transporte, ANI, y INVIAS) están tomando medidas significativas para comenzar a atender las necesidades institucionales identificadas más adelante, incluyendo el trabajo conjunto con IDEAM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, DNP y UNGRD para ayudar en este proceso. Antes de realizar un examen más a fondo de la coordinación institucional en Colombia, se pueden identificar varias lecciones de la experiencia internacional.

Las necesidades de adaptación derivadas del cambio climático pondrán a prueba a las agencias de transporte y ambientales colombianas, no solo técnica sino institucionalmente, y también requerirán nuevos mecanismos de coordinación. El Ministerio de Transporte deberá coordinar la manera de abordar medidas de cambio climático con sus entidades adscritas y buscar estrategias de acercamiento a las entidades encargadas del tema a nivel regional, con el fin de articular los esfuerzos en esta materia.

Una de las lecciones de la experiencia internacional muestra que abordar los impactos del clima en el transporte requerirá de un entendimiento mutuo entre los profesionales del transporte y los expertos en clima, entendiendo los límites de la información y su relación con la toma de decisiones en el sector. El IDEAM ha realizado una serie de análisis que han sido muy útiles para los planificadores del Ministerio de Transporte, incluyendo proyecciones climáticas y superposiciones de vulnerabilidades a derrumbes e inundaciones, pero este documento ha identificado análisis detallados que requerirán una comprensión detallada de la interacción del cambio climático sobre el entorno y sobre las vulnerabilidad existente.

También requerirá nuevas herramientas basadas probabilidades, y gestión de riesgos así como en períodos de tiempo más largos, dado que el cambio climático afectará en esos periodos y es necesario abordarlos para proporcionar un servicio fuerte y resiliente en el largo plazo. Muchas prácticas adecuadas en la planificación del transporte se basan en normas de ingeniería que se han desarrollado a través del análisis de las tendencias del pasado; sin embargo, de acuerdo con el IPCC, el pasado ya no es un buen predictor del futuro a medida que se produce el cambio climático. Los modelos pueden ayudar a desarrollar las proyecciones climáticas futuras, pero las incertidumbres asociadas con estas condiciones futuras a menudo son un reto para los responsables del transporte. Se necesitan nuevos métodos de análisis y datos y se requerirá una estrecha colaboración entre el Ministerio de Transporte, ANI, INVIAS, las entidades ambientales, por un lado, y las encargadas de producir información sobre el clima IDEAM y UNGRD.

⁷¹ DNP, 2011.

Se deberán abordar las limitaciones de recursos. El tema del costo de la adaptación ha sido objeto de un intenso debate en la comunidad internacional. Las medidas efectivas de adaptación en la forma de nuevos diseños, materiales más duraderos, y sistemas basados en la ecología, requerirán recursos adicionales. Pero si se analizan desde la perspectiva de ahorros de costos mediante la adopción de un enfoque estratégico para la adaptación al considerar los efectos climáticos y las medidas para hacerles frente en la planificación y el diseño de la infraestructura, ya sea en la nueva construcción o durante la rehabilitación planificada, en vez de modernizar las instalaciones existentes o hacer frente a las catástrofes, esta percepción puede variar. Sin embargo, los costos iniciales probablemente subirán, para poder satisfacer las necesidades actuales y futuras.

En Colombia, las necesidades de recursos deben ser vistas en el contexto de las vías públicas y privadas, analizando fuentes de financiación para cada categoría. En el caso de las vías concesionadas, estos costos pueden ser cargados a los usuarios de la carretera en forma de un aumento en los peajes o ser sufragados por el gobierno a través de medidas de riesgo compartido con los concesionarios o subsidios directos a ellos.

Entender *cuándo* adaptarse es tan importante como la selección de un conjunto factible de opciones de adaptación; el cambio climático ocurre con el tiempo, y con frecuencia hay un momento óptimo para alinear las estrategias de adaptación dentro de la vida útil de un recurso. Se deben considerar tanto los costos como los beneficios de la adaptación. Si bien es fácil centrarse en los costos inmediatos de la adaptación, también hay costos de *no* adaptación (costos de la inactividad). Por último, se debe llevar a cabo un examen de los co-beneficios, estrategias que ayudarán a alcanzar objetivos sociales, de seguridad, o de medio ambiente.

6 Consideraciones sociales y económicas

Proporcionar un sistema de transporte equitativo, asequible, limpio, seguro y accesible es esencial para contribuir al desarrollo sostenible. El mantenimiento para que los sistemas de transporte funcionen correctamente es fundamental para contribuir al bienestar de los individuos y los hogares y para el apoyo al desarrollo económico.⁷²

Las poblaciones dentro de las ciudades dependen en gran medida de múltiples modos de transporte, en particular los grupos de ingresos más bajos, que a menudo dependen del transporte público o no motorizado (como caminar) durante al menos parte de sus desplazamientos diarios.

Las poblaciones pobres y marginadas de Colombia probablemente experimentarán los peores impactos del cambio climático debido a su reducida capacidad para hacerles frente. El cambio climático en Colombia será una amenaza para los servicios habilitados por la infraestructura-al igual que el clima afecta a estos servicios en la actualidad. Por ejemplo, las tormentas y las inundaciones hacen que las carreteras sean intransitables, impidiendo que las personas lleguen a los centros de salud o puestos de trabajo. A medida que el cambio climático empeore, las interrupciones del servicio se harán más intensas y más frecuentes, y la sociedad en su conjunto va a sufrir impactos cada vez más negativos. Las poblaciones costeras son especialmente vulnerables al riesgo del aumento del nivel del mar. En ciudades costeras como Cartagena, los barrios pobres a menudo se encuentran en las zonas bajas, que

⁷² World Bank, 2010.

serán vulnerables a las inundaciones y a la erosión.⁷³ Además, el cambio climático es una preocupación particular para el cultivo de granos de café, que es una parte esencial de la economía de Colombia. No solo los cambios en las temperaturas y las precipitaciones impactarán directamente los cultivos de café; el cambio climático también afectará a la infraestructura necesaria para el transporte y la exportación del café (como carreteras, operaciones de carga y puertos) que se cultivan en las regiones más rurales del país, perjudicando a los trabajadores agrícolas que dependen de este comercio.⁷⁴ Dado que las personas más pobres tienen recursos limitados para el ahorro, la estabilidad laboral, y las opciones de movilidad, se verán desproporcionadamente afectadas por las alteraciones climáticas en el transporte.

7 Hacia un Proceso de Planificación de un Transporte Más Social, Ambiental y Compatible con el Clima en Colombia

Colombia está preparada para invertir de manera significativa en su infraestructura de transporte en los próximos años. Dado que la red de transporte existente ya es vulnerable a las inundaciones, los derrumbes, y otros factores climáticos, es importante asegurarse de que las nuevas inversiones sean resilientes ante los riesgos climáticos actuales y futuros.

Dada la larga vida útil de la mayoría de la infraestructura de transporte, los riesgos climáticos actuales y futuros deben tenerse en cuenta a la hora de emprender nuevas inversiones en todas las regiones, porque se espera que los riesgos relacionados con el clima cambien con el tiempo, a lo largo de y al interior de cada región. Además, es necesario entender al territorio como un “organismo vivo”: el desarrollo de las vías a menudo estimula el crecimiento económico y demográfico, ayudando a promover nuevas presiones y un aumento de la vulnerabilidad, lo cual debe ser considerado en la planificación del transporte como parte de la planificación del territorio.

La vulnerabilidad del sistema de transporte no se limita a los factores climáticos, otros factores de cambio como el uso del suelo/la cobertura de suelos, y los cambios demográficos, pueden interactuar para agravar o reducir los impactos potenciales en el sistema de transporte. Por ejemplo, la combinación de la deforestación, la urbanización y el aumento de la frecuencia e intensidad de los eventos por precipitación, puede dar lugar a inundaciones más perjudiciales, que afectarán a la movilidad y la salud de bienes y personas.

De esa manera, abordar el cambio climático es una oportunidad única para armonizar los procesos de desarrollo y planificación del transporte con objetivos de desarrollo social, económico y ambiental, a través de un proceso de desarrollo y planificación del transporte más inclusivo. Al hacer énfasis en la inclusión social (educación, empleo, servicios públicos, actividades recreativas y sociales), los esfuerzos de desarrollo y planificación del transporte pueden alcanzar dos objetivos importantes: *equidad y desarrollo económico*.

No es suficiente hacer frente a los riesgos climáticos *únicamente* con soluciones de ingeniería, o *solo* con soluciones políticas. El riesgo climático debe abordarse integralmente dentro de la política gubernamental, de manera que el proceso de planificación del transporte sea consistente con los objetivos de desarrollo.

⁷³ CDKN, 2013.

⁷⁴ Armenteras et al., 2004.

Dentro de este contexto de mediadas integrales, será necesario identificar las acciones de adaptación a nivel de proyecto. Hay muchas formas diferentes de abordar la adaptación, y la mayoría de ellas caben dentro de las siguientes categorías generales, identificadas por el IPCC:⁷⁵

- **Proteger:** la infraestructura se puede proteger de los impactos del cambio climático a través de características de diseño o de las estructuras de protección reales.
- **Acomodar:** los retos climáticos en el sector se pueden abordar acomodando el aumento de las necesidades por interrupciones en mantenimiento / reparación y servicio.
- **Retirar:** En algún momento, los funcionarios de transporte pueden decidir que los riesgos o costos de los impactos del cambio climático son demasiado grandes y que los recursos del transporte deberían ser trasladados a otros lugares de menor riesgo.

Estas estrategias tendrán que ser evaluadas a la luz de su eficacia, los costos del ciclo de vida, la dificultad de implementación, los impactos sociales y las consecuencias ambientales, antes de que los tomadores de decisión determinen acciones. Pero antes de evaluar las medidas de adaptación, es necesario realizar una evaluación más completa a nivel de proyecto. Los análisis de vulnerabilidad y de riesgo de los sistemas de transporte proporcionan una idea de las principales debilidades.

Hay una serie de obstáculos para la adaptación, así como estrategias para superarlos, que incluyen:

- **Barreras institucionales.** Se deben diseñar normas y prácticas aceptables dentro de las instituciones, que sean compatibles con el desarrollo resiliente al clima. La capacidad de estas organizaciones para colaborar y coordinar los enfoques será vital para una adaptación exitosa.
- **Barreras financieras.** Con frecuencia se cita la falta de financiación como una barrera para la implementación de estrategias de adaptación. En Colombia, están disponibles recursos tales como el Fondo de Adaptación. Un objetivo específico de este fondo es mitigar los riesgos de los riesgos naturales en el futuro.
- **Barreras técnicas.** Están surgiendo y se están poniendo a prueba estrategias para guiar sistemáticamente a los inversionistas del transporte a través de los procesos de planificación de adaptación. Estas estrategias proporcionan ya un buen punto de partida para la planificación de la adaptación, y gradualmente serán mejorados con el tiempo.
- **Barreras políticas.** A menos que haya un apoyo adecuado en el público en general y entre sus representantes electos, puede ser difícil movilizar los recursos para abordar adecuadamente el cambio climático. La educación y la difusión son, por lo tanto, componentes esenciales de las estrategias de adaptación.
- **Incertidumbre en las proyecciones climáticas e impactos esperados.** La incertidumbre es inevitable cuando se trata de cambio climático. Afortunadamente, hay maneras de actuar frente a futuros inciertos y datos imperfectos, incluyendo la planificación de escenarios, el desarrollo de enfoques estratégicos para la planificación y la identificación de estrategias de “no-lamentarse” para maximizar la capacidad de resiliencia.

⁷⁵ Burkett et al., 2011.

8 Conclusiones

Las estrategias de adaptación serán fundamentales dado el aumento potencial de los efectos del clima en el sistema de transporte, así como en las personas, los medios de sustento y el medio ambiente. Estas estrategias tendrán que desarrollarse y evaluarse dadas las metas de desarrollo más amplias. Un sistema de transporte bien planificado puede ayudar a fomentar no solo un sistema de transporte seguro y confiable, sino también un medio ambiente sano, una calidad de vida más alta y una economía más fuerte.

Todos estos objetivos pueden verse amenazados por los impactos del cambio climático en el sistema de transporte, pero se puede desarrollar una red de transporte más sostenible, mediante su transformación dentro de los principios del desarrollo compatible con el clima. Por medio de la integración de la adaptación en estos procesos normales de planificación, la financiación y el apoyo político pueden llegar a ser más accesibles.

En conclusión, los hallazgos en este documento ratifican la importancia de considerar el cambio climático en las inversiones en transporte en el país, los cuales se orientan así:

- Debido a las altas precipitaciones anuales en Colombia, la topografía montañosa y las frecuentes actividades sísmicas y volcánicas, las inundaciones y los derrumbes constituyen el principal riesgo climático para el sistema de transporte colombiano. **Con el cambio climático se proyecta un aumento en la intensidad y frecuencia de inundaciones y derrumbes, agravando la vulnerabilidad existente del sector.**
- **El aumento en la intensidad y frecuencia de inundaciones y derrumbes es de particular relevancia en la Región Andina que es de gran importancia a nivel ambiental, social y económico.** Esta área tiene una malla vial defectuosa que sirve a grandes concentraciones de población en constante crecimiento.
- Mientras que una mayoría de impactos climáticos actuales y proyectados resultan de las precipitaciones, **el cambio climático se caracterizará por extremos térmicos más altos y más frecuentes, el aumento del nivel del mar y de marejadas ciclónicas, que dañarán la infraestructura e interrumpirán los servicios de transporte.**
- **El cambio climático es solo uno de muchos factores entrelazados que deben ser considerados por los planificadores del sector.** Por ejemplo, cambios en el uso del suelo/ocupación del suelo (como la deforestación, el incremento de áreas pavimentadas), la reducción de los servicios eco-sistémicos (estén ligados a cambios en el uso del suelo, o resulten del cambio climático), pueden conducir a inundaciones y derrumbes más frecuentes e intensos.
- **Cuando se emprenden nuevas inversiones, se deben considerar los riesgos climáticos actuales y futuros en todas las regiones,** ya que se espera que el cambio climático cambie los riesgos en todas las regiones; la vida útil del servicio de la infraestructura de transporte es largo y el

desarrollo de las carreteras estimula a menudo el crecimiento económico y demográfico, creando nuevas vulnerabilidades.

- **Las necesidades de adaptación al cambio climático retarán a las instituciones de transporte y medio ambientales de Colombia, no solo técnicamente, sino también institucionalmente, requiriendo nuevos mecanismos de coordinación.** La necesidad de nuevos datos, herramientas y estrategias de adaptación, requerirán mayor coordinación entre los profesionales del sector transporte y científicos climáticos, así como el mejoramiento de la capacidad institucional para tratar el cambio climático, y elevar las preocupaciones en materia de recursos y presupuesto.
- **Incluir el cambio climático en la planeación y el desarrollo del sector de transporte ofrece una gran oportunidad para armonizar los procesos de desarrollo y planeación del sector con las metas sociales, económicas y ambientales.** Un proceso de desarrollo y de planeación más inclusivo contribuirá a mejorar la calidad de vida, la competitividad económica y la preservación del medio ambiente.

9 Obras citadas

- Agrimoney.com. (2011, Diciembre 11). *Cost to Colombia of heavy rains hits \$5.8bn*. Consultado en 2013, en Agrimoney.com: [www.agrimoney.com/news/cost-to-colombia-of-heavy-rains-hits-\\$5.8bn--3988.html](http://www.agrimoney.com/news/cost-to-colombia-of-heavy-rains-hits-$5.8bn--3988.html).
- Armenteras, D., Rincón, A., y Ortiz, N. (2004). *Ecological Function Assessment in the Colombian Andean Coffee-growing Region*. Sub-global Assessment Working Paper. Millennium Ecosystem Assessment. Consultado en 2013, en: http://www.unep.org/maweb/documents_sga/Colombia%20Subglobal%20Report.pdf
- Armenteras, D. R. (2005). Vegetation Fire in the Savannas of the llanos Orientales of Colombia. *World Resource Review*, 531-543.
- Barrett, M. (2011, May 18). *What's a Páramo and how does it provide water to millions of people*. Consultado en 2013, en Planet Change, The Nature Conservancy: <http://change.nature.org/2011/05/18/what%E2%80%99s-a-paramo-and-how-does-it-provide-water-to-millions-of-people>.
- Bindoff, N.L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Gulev, S., Hanawa, K., Le Quéré, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C.K., Talley, L.D., y Unnikrishnan, A. (2007). Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Brazilian Foundation for Sustainable Development (FBDS). (Undated). *Climate Change and Extreme Events in Brazil*. London: Lloyd's.
- Burkett, V., Codignotto, J.O., Forbes, D.L., and Mimura, N. (2001). Coastal Zones and Marine Ecosystems. En: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K.S. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cardoso, A., y Benhin, J. (2003). *The Economics of Climate Change: Assessing the Viability of Protecting Colombia Caribbean Coast from Sea Level Rise*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Catarious, D., y Espach, R. (2009). *Impacts of Climate Change on Colombia's National and Regional Security*. CAN Analysis & Solutions.
- CCSP. (2008). *Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase I*. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Savonis, M. J., V.R. Burkett, y J.R. Potter (eds.)]. Department of Transportation, Washington, DC, USA.
- CDKN. (2013). *Embedding Climate Change Resilience in Coastal City Planning: Early Lessons from Cartagena de Indias, Colombia*.
- Coifman, R. (2010, December 8). *Flooding disrupts logistics for Colombia's industries*. Retrieved 2013, from ICIS News: www.icis.com/Articles/2010/12/08/9417894/flooding-disrupts-logistics-for-colombias-industries.html
- Consultoría Colombiana. (2013a). *Dataset from Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales*. Bogotá, Colombia.
- Consultoría Colombiana. (2013b). *Dataset from Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID)*. Santiago, Chile.

- Consultoría Colombiana. (2013c). *Dataset from Ministerio de Transporte*. Bogotá, Colombia.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2011). *Colombia Policy Guidelines for Climate Change (CONPES No. 3700)*. Bogotá, Colombia.
- Domingues, C.M., Church, J.A., White, N.J., Gleckler, P.J., Wijffels, S.E., Paul M.B., y Dunn J.R. (2008). Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature*, 453, 1090–1093.
- Duarte, F., and Rojas., F. (2012). Intermodal Connectivity to BRT: A Comparative Analysis of Bogotá and Curitiba. *Journal of Public Transportation* 15(2).
- Greenpeace. (2009). *Cambio Climático: Futuro Negro Para Los Paramos*. Greenpeace Colombia. Retrieved from: http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe_todo3.pdf.
- Grinsted, A., Moore, J. C., and Jevrejeva, S. (2009). Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Clim. Dyn.*, 34(4), 461–472.
- ICF. (2013). *Critical Climate Change Concerns for the Road Sector in Colombia: Technical Support Document*. Washington, DC.
- IDEAM. (2010). *Colombia's second national communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Nairobi: United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).
- IDEAM. (2011a). *Evidencias De Cambio Climático En Colombia Con Base En Información Estadística*. IDEAM–METEO/001-2011.
- IDEAM. (2011b). *Digital deforestation monitoring dataset from IDEAM*. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2012). *Indicadores Que Manifiestan Cambios En El Sistema Climático De Colombia (Años y décadas más calientes y las más y menos lluviosas)*. IDEAM–METEO/001-2012.
- IDEAM. (2013, April 24). *Climate station dataset from IDEAM*. Bogota, Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2013). *Geographical Dataset Request*.
- Inter-American Development Bank (IDB). (Undated). *Colombia: Strategic Public Transportation Systems Program*. Consultado en 2013, en: [http://www.climateinvestmentfunds.org/cif/sites/climateinvestmentfunds.org/files/Colombia%20Strategic Public Transportation Systems Program-PID.pdf](http://www.climateinvestmentfunds.org/cif/sites/climateinvestmentfunds.org/files/Colombia%20Strategic%20Public%20Transportation%20Systems%20Program-PID.pdf).
- International Finance Corporation (IFC). (2011). *Climate Risk and Business PORTS: Terminal Marítimo Muelles el Bosque*.
- INVIAS. (2006). *Study and research the current status of the construction of the national road network*. Convenio Inter Administrative 0587-03.
- INVIAS. (2013). Personal Communication.
- Khabarov, N., Huggel, C., Obersteiner, M., y Ramirez, J.M. (2011). Adaptation capacity of a landslide early warning system to climate change: numerical modeling for the Combeima region in Colombia. *Journal of Integrated Disaster Risk Management* 1(2).
- Knutson, T., McBride, J., Chan, J., Emanuel, K., Holland, G., Landsea, C., Held, I., Kossin, J., Srivastava, A., y Sugi, M. (2010). Tropical Cyclones and Climate Change. *Nature Geoscience* 3, 157–163.
- Litman, T. 2003. *Social Inclusion as a Transport Planning Issue in Canada*. Victoria Transport Policy Institute. Consultado en 2013, en: http://www.vtppi.org/soc_ex.pdf.
- Magrin, G., Gay García, C., Cruz Choque, D., Giménez, J.C., Moreno, A.R., Nagy, G.J., Nobre, C., y Villamizar, A. (2007). Latin America. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Maurice, N., Calixte, J., y St. Louis, J. (2010). *Report on Vulnerability and Adaptation to climate change in Saint Lucia's Financial Services Sector*. Nairobi: UNFCCC.

- McSweeney, C. M. (2010). The UNDP Climate Change Country Profiles: improving the accessibility of observed and projected climate information for studies of climate change in developing countries. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91, 157–166.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2011). *Sistema Nacional de Cambio Climático*. Bogotá, Colombia.
- Ministry of Transport. (2012a). *Infrastructure for Climate Change: The Transport Sector (Infraestructura para el Cambio Climático: Sector Transporte)*. July 5, 2012. Consultado en 2013, en: <http://eventos.caf.com/media/13011/infraestructura%20para%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico%20sector%20transporte%20-%20miguel%20pe%C3%B1aloza.pdf>.
- Ministry of Transport. (2012b). *Ejecutar es Nuestra Ruta*. Bogota: Ministry of Transport.
- National Administrative Statistics Department (DANE). (2011). *PIB por departamentos*. Bogota: DANE.
- National Research Council (NRC). (2008). *Special Report 290: Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation*. Transportation Research Board.
- National Research Council (NRC). (2010). *America's Climate Choices: Advancing the Science of Climate Change*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S., y Woodroffe, C.D. (2007). Coastal systems and low-lying areas. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Pfeffer, W., Harper, J., y O'neel, S. (2008). Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise. *Science*, 321(5894), 1340–1343.
- Rahmstorf, S. (2007). A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-level Rise. *Science*, 368-370.
- Rohling, E. J., Grant, K., Hemleben, Ch., Siddall, M., Hoogakker, B. A. A., Bolshaw, M. y Kucera, M. (2008). High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience* 1, 38–42.
- Salin, D., y Mello, E. (2009). *Snapshot of Colombia Transportation and Infrastructure*. Washington, DC: Office of Global Analysis, United States Department of Agriculture Foreign Agriculture Service.
- Schuster, R.L., and Highland, L.M. (2001). *Socioeconomic and Environmental Impacts of Landslides in the Western Hemisphere*. Washington DC: U.S. Geological Survey.
- Schwab, K. and Sala-i-Martin. (2013). *The Global Competitiveness Report 2012-2013*. Geneva: World Economic Forum.
- Sistema Nacional Ambiental (SINA). (2010). *Gestión del cambio climático en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- The Economist. (2011). *Colombia's infrastructure: Bridging the gaps*. Consultado en 2013, en: <http://www.economist.com/node/21529036>.
- UNGRD. (2013, April 24). Email. *Dataset of Multi-Impact Analysis by the National Risk Management Agency on Disasters*.
- Viloria de la Hoz, J. (2009). *Geografía económica de la Orinoquía*. Consultado en 2013, en Banco de la República, Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER): <http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/documentos/DTSER-113.pdf>
- World Bank. (2010). *Mainstreaming Gender in Road Transport: Operational Guidance for World Bank Staff*. TP-28, March 2010. Consultado en 2013, en: <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1227561426235/5611053-1229359963828/tp-28-Gender.pdf>.

Este documento es el resultado de un proyecto financiado por el Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID por sus siglas en inglés) y la Dirección General de Cooperación Internacional (DGIS) de los Países Bajos en beneficio de los países en desarrollo. No obstante, las opiniones expresadas y la información incluida en el mismo no reflejan necesariamente los puntos de vista o no son las aprobadas por el DFID o la DGIS, que no podrán hacerse responsables de dichas opiniones o información o por la confianza depositada en ellas. Esta publicación ha sido elaborada sólo como guía general en materias de interés, y no constituye asesoramiento profesional. Usted no debe actuar en base a la información contenida en esta publicación sin obtener un asesoramiento profesional específico. No se ofrece ninguna representación ni garantía (ni explícita ni implícitamente) en cuanto a la exactitud o integridad de la información contenida en esta publicación, y, en la medida permitida por la ley, las entidades que gestionan la aplicación de la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN) no aceptan ni asumen responsabilidad, obligación o deber de diligencia alguno por las consecuencias de que usted o cualquier otra persona actúe o se abstenga de actuar, basándose en la información contenida en esta publicación o por cualquier decisión basada en la misma. La gestión de la aplicación de CDKN es llevada a cabo por PricewaterhouseCoopers LLP y una alianza de organizaciones que incluyen al Overseas Development Institute, la Fundación Futuro Latinoamericano, INTRAC, LEAD International y SouthSouthNorth.

©2014. Todos los derechos reservados