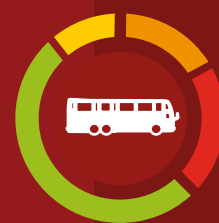




Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia:

# SECTOR TRANSPORTE

2015



**DNP** Departamento  
Nacional  
de Planeación



**TODOS POR UN  
NUEVO PAÍS**  
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



**BID**



# IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

## SECTOR TRANSPORTE

Fabio Gordillo, Silvia Calderón, Germán Romero,  
Daniel A. Ordóñez, Andrés Álvarez, Leonardo  
Sánchez-Aragón, Carlos E. Ludeña.



**DNP** Departamento  
Nacional  
de Planeación



Instituto de Hidrología,  
Meteorología y  
Estudios Ambientales





## Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Transporte / Fabio Gordillo, Silvia Calderón, Germán Romero, Daniel A. Ordóñez, Andrés Álvarez, Leonardo Sánchez-Aragón, Carlos E. Ludeña.

p. cm. — (Monografía del BID; 259)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Economic impact analysis—Colombia. 2. Climatic changes—Colombia. 3. Transportation—Colombia. 4. Roads—Colombia. I. Gordillo, Fabio. II. Calderón, Silvia. III. Romero, Germán. IV. Ordóñez, Daniel A. V. Álvarez, Andrés. VI. Sánchez-Aragón, Leonardo. VII. Ludeña, Carlos E. VIII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. IX. Series.

IDB-MG-259

Clasificación JEL: Q54, R41, O18, O54

Palabras clave: cambio climático, productividad, carreteras, transporte, transporte férreo, aeropuertos, puertos, Colombia

Este documento es uno de los análisis sectoriales que conforman la serie "Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia" del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), desarrollado en conjunto con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en el marco del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERECC) en América Latina y el Caribe, coordinado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

El presente documento fue preparado por Fabio Gordillo (GSDplus), bajo la coordinación de Silvia Calderón, Germán Romero, Daniel Alejandro Ordóñez, Andrés Álvarez y Diana Gutiérrez, Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Carlos Ludeña y Leonardo Sánchez-Aragón (BID), y los aportes de Carlos de Miguel, Karina Martínez y Mauricio Pereira (CEPAL). Se agradece a Camilo Peña y Luis F. Ordóñez por el material fotográfico aportado.

### Citar como:

Gordillo, F., S. Calderón, G. Romero, D. A. Ordóñez, A. Álvarez, L. Sánchez-Aragón y C. E. Ludeña. 2015. Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Transporte. Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 259, Washington D.C.

Copyright © 2015 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra está bajo una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

<http://www.iadb.org>



# Contenido


## IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA: SECTOR TRANSPORTE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>2.</b>	<b>EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA</b>	7
<b>3.</b>	<b>IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR TRANSPORTE</b>	11
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL SECTOR TRANSPORTE</b>	12
	4.1. Cambios en la productividad del sector transporte	13
	4.2. Determinación de la participación de los subsectores en el sector	14
	4.3. Cálculo del impacto del cambio climático sobre la productividad del sector transporte	17
<b>5.</b>	<b>EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE SUBSECTORES DEL SECTOR TRANSPORTE</b>	18
	5.1. Análisis del transporte carretero en Colombia	8
	5.2. Análisis del transporte férreo en Colombia	34
<b>6.</b>	<b>ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AGREGADO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCTIVIDAD EL SECTOR TRANSPORTE</b>	36
<b>7.</b>	<b>EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE SUBSECTORES DEL SECTOR TRANSPORTE</b>	38
	7.1. Análisis del impacto del aumento del nivel del mar en el transporte carretero en Colombia	38
	7.2. Análisis del transporte urbano en Colombia	39
	7.3. Análisis del transporte marítimo en Colombia	41
	7.4. Análisis del transporte aéreo en Colombia	45
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	48
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	49
	<b>ANEXO I:</b> Matriz de casos de afectaciones al sector transporte por causas climáticas	50
	<b>ANEXO II:</b> Descripción de las cuentas nacionales relacionadas con el sector transporte	52
	<b>ANEXO III:</b> Proporción de la red vial según la zona de amenaza por remoción en masa por departamento	54
	<b>ANEXO IV:</b> Desarrollo de la metodología del modelo cuantitativo de estimación del impacto sobre el modo férreo	54





# Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: SECTOR TRANSPORTE



El sector transporte se encuentra continuamente sujeto a riesgos meteorológicos que impactan directamente la infraestructura y la eficiencia de las operaciones, de los diferentes modos de transporte (terrestre, acuático y aéreo). El cambio climático tendrá repercusiones directas sobre todos los modos y altera sus operaciones y/o infraestructura dependiendo de la amenaza específica de la que se hable (temperatura, precipitación o nivel del mar).

Este estudio desarrolla un método formal de evaluación de impactos, donde se identifica y cuantifica las consecuencias que provocan las diferentes amenazas del cambio climático para el país sobre el sector transporte en todos sus modos. Para ello, se desarrollan un modelo cuantitativo para los subsectores de transporte férreo y carretero y análisis cualitativos para los subsectores de transporte aéreo, marítimo y urbano. Los resultados sugieren que el impacto del cambio climático sobre la productividad de la operación del sector transporte en Colombia será entre un -1,8 y un -3,1%.



## 1

## Introducción

Para el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), el cambio climático que se ha venido presentando en el Siglo XXI es inequívoco y se ha convertido en uno de los temas más importante de nuestro tiempo. Potencialmente, todos los sistemas naturales y humanos están en riesgo de ser afectados por los cambios producidos por un nuevo régimen climático. Según las proyecciones, las amenazas principales del cambio climático a nivel mundial son un aumento de la temperatura promedio global, variaciones regionales en los patrones y en la intensidad de las precipitaciones, y un ascenso del nivel del mar.

Según Jaroszweski, Chapman, y Petts (2010), la necesidad de adaptación ha conducido a la necesidad de un método formal de evaluación de impactos. En 1994, el IPCC identificó que la evaluación de los impactos potenciales del cambio climático era un paso fundamental para poner de relieve los posibles costos de la inacción de las políticas de mitigación, y para proporcionar una guía de lo que debe adaptarse y cómo hacerlo.

Además de tener en cuenta las amenazas del cambio climático que se han mencionado, se debe reconocer que el clima de Colombia está influenciado por la variabilidad climática asociada con su posición geográfica en el trópico y con fenómenos climáticos como “El Niño” y “La Niña”. Esta variabilidad ha generado afectaciones importantes sobre los sistemas naturales y humanos, y sobre la productividad del país. Por ejemplo, el fenómeno de “La Niña” ocurrido entre octubre de 2010 y mayo de 2011 presentó precipitaciones e inundaciones muy superiores a las observadas históricamente. Sobre este evento, el Fondo de Adaptación reportó que el gobierno nacional ejecutó más de 5 billones de pesos del presupuesto y que se requiere una inversión adicional de 25 billones de pesos para la recuperación total de los daños, de los cuales 12 billones corresponden al sector transporte (BID y CEPAL, 2013).

A pesar de que el sector transporte no ha recibido mucha atención desde el punto de vista de los daños que causa el cambio climático, se sabe que los sistemas de transporte en conjunto empeoran su desempeño en condiciones climáticas adversas y extremas. Esto es especialmente cierto en regiones densamente pobladas, donde un solo evento puede dar lugar a una cadena de reacciones que influyen en grandes partes de los sistemas de transporte.

Partiendo de la zona geográfica específica de Colombia, este trabajo desarrolla un método formal de evaluación de impactos, donde se identifica y cuantifica las consecuencias que provocan las diferentes amenazas del cambio climático para el país, sobre el sector transporte en todos sus modos (terrestre, acuático y aéreo).

En la siguiente sección se describen las evidencias existentes sobre el cambio climático en Colombia. Luego se presenta la matriz de casos de eventos posibles causados por el cambio climático en el país. Posteriormente, en la cuarta sección se desarrolla la metodología utilizada para medir los impactos del cambio climático en el sector de transporte. En la quinta sección se muestran las evaluaciones cuantitativas del impacto del clima sobre los sectores de transporte considerados. En la sexta sección se estima el impacto agregado



del cambio climático sobre la productividad del sector transporte. En la sección siete se muestra las evaluaciones cualitativas del cambio climático, y finalmente se presentan las conclusiones del estudio.

## 2

## El cambio climático en Colombia

Las actuales evidencias de incremento de la temperatura media global y de sus efectos asociados con otras variables climáticas, hacen necesario preparar y explorar vías para una adaptación a los cambios. Para esto, se necesita proyectar las posibles condiciones futuras y evaluar los impactos potenciales asociados con el calentamiento global.

Para generar escenarios del clima futuro, el IPCC considera modelos integrados que contemplan tanto la generación futura de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producto del desarrollo socioeconómico global, como la respuesta del clima del planeta al forzamiento radiactivo resultante.

De acuerdo al Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC Escenarios de Emisiones publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, los escenarios de cambio climático “son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes (crecimiento demográfico, desarrollo socioeconómico y cambio tecnológico) en las emisiones futuras; y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis” (IPCC, 2000). Los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación. El siguiente cuadro muestra los escenarios de emisiones.

El IPCC y diferentes instituciones gubernamentales, a partir de los diferentes escenarios de cambio climático, han podido dar cuenta de la realidad del calentamiento global y han podido identificar las amenazas potenciales que impactarán todos los sistemas naturales y humanos (IPCC, 2000). Según como se proyecta, las amenazas principales del cambio climático a nivel mundial son: un aumento de la temperatura promedio global, variaciones regionales en los patrones y en la intensidad de la precipitación y un ascenso del nivel del mar.

Los modelos de cambio climático predicen que los aumentos de temperatura serán mayores en las zonas terrestres que sobre los océanos y los mares, más altos al interior de los continentes que en las zonas costeras, y ascenderán más cuando se vaya desde los trópicos hasta las regiones polares en el hemisferio norte. Las consecuencias en cuanto a los patrones de precipitación son más complejas de predecir y dependen mayormente de la geometría continental, aunque también de la vecindad y forma de las montañas, y de la dirección del viento. En general, se espera que la precipitación aumente en las regiones cercanas a las regiones polares, y disminuya en las áreas adyacentes a los trópicos. Además, se espera que la precipitación tropical sea más fuerte durante las temporadas de



lluvia. Por último, se proyecta que el aumento del nivel del mar para el 2100 oscile entre 0,18 m y 0,59 m respecto del nivel en 1990 (Jaroszweski, Chapman, y Petts, 2010).

Para la elaboración del modelo de afectación del cambio climático en el sector transporte, se necesita tener al alcance información respecto a los escenarios de cambio climático para Colombia, donde se describan las futuras alteraciones en el nivel del mar y en los regímenes de temperatura y precipitación, así como los aumentos en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos; factores que potencialmente pueden afectar la operación del servicio, la planeación, la construcción, el uso y el mantenimiento de la infraestructura del transporte.

En Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) tiene una red meteorológica nacional de unas 2.000 estaciones que opera, de las cuales se definieron 150 de superficie como la red de referencia para el seguimiento del clima y el cambio climático. Además de las cinco estaciones de radiosonda para darle la tridimensionalidad a las observaciones.

La Subdirección del IDEAM y el Departamento de Geografía de la Universidad Nacional, a través del Proyecto Integrado de Adaptación Nacional (INAP), han venido elaborando estudios de generación de escenarios de cambio climático con base en los escenarios de baja resolución suministrados por el IPCC y obteniendo resultados en alta resolución con el uso de modelos regionales. A continuación se muestra una breve revisión de los resultados obtenidos a partir de los estudios basados en los escenarios SRES (Special Report on Emission Scenarios).

## 2.1. Temperatura

Al analizar las tendencias de las series históricas de la temperatura máxima, media y mínima del día, registradas desde mediados de la década de los setenta en algunas estaciones de diferentes pisos térmicos, no se observa una clara relación entre la altura y el aumento de las temperaturas (tendencia positiva).

En las estaciones de páramo alto, se presentan fuertes incrementos en la temperatura máxima (asociada con el día), cercanos a 1°C por década, mientras que, en las zonas de subpáramo y bosque Alto Andino, los incrementos están entre 0,3 °C y 0,6 °C por década. En la temperatura mínima (asociada con las horas de la noche y la madrugada), los incrementos en las estaciones de páramo son muy bajos. En las estaciones de clima frío, templado y cálido se presenta un mayor incremento en la temperatura mínima (noche) que en la temperatura máxima (día), excepto en las estaciones de clima cálido cercanas al mar, en donde los mayores incrementos se dan en la temperatura máxima.

Como conclusión general de los estudios del 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 por década (IDEAM, 2010a).

A partir del ensamble multimodelo de Ruiz Murcia (2010), se obtuvieron promedios para la temperatura del aire que muestran que la señal de cambio climático es mayor hacia finales de siglo XXI (2071 – 2100). Los aumentos más significativos de la temperatura media se observan en gran parte de la región Caribe y Andina con valores que oscilan entre 3 °C y 4 °C, e incluso valores superiores en zonas del Tolima y Norte de Santander; influenciado por la manifestación de que los días, según los modelos, serán más cálidos, ya que la temperatura media máxima en gran parte de las regiones mencionadas aumentaría sus valores entre 4 °C y 5 °C para finales del siglo XXI con respecto a la normal climatológica 1971–2000. En términos de territorio nacional, en promedio, la temperatura media aumentaría 1,4 °C para 2011 – 2040, 2,4 °C para 2041 – 2070 y 3,2 °C para el período 2071 – 2100.

La temperatura afecta al transporte de diversas maneras, induce efectos sobre el desempeño de los aviones, influencia el comportamiento del asfalto o impone restricciones para el transporte de productos perecederos. La temperatura también afecta otros sectores que interactúan con el transporte e indirectamente pueden afectar la demanda en este mercado (Un análisis de la dispersión del impacto se encuentra detallado en BID-CEPAL-DNP, 2014), sin embargo, a diferencia de otros sectores, la variable precipitación es la más relevante para el análisis cuantitativo de este documento.

## 2.2. Precipitación

Usando la serie comprendida entre 1971 – 2000, se encontró para la lluvia una tendencia lineal negativa, que se traduce en una reducción de las precipitaciones en amplios sectores de la región Andina, sur de la región Pacífica y Piedemonte Llanero de la Orinoquia. Asimismo, se obtuvo una tendencia lineal positiva que se refleja en el incremento de las precipitaciones de la región Caribe, resto de la región Pacífica y la Amazonía Colombiana.

Las estaciones de páramo (entre los 3.000 y 4.200 msnm) y cercanas a este piso térmico, presentan una tendencia hacia la disminución de las precipitaciones anuales. También se encontró una tendencia a la disminución de eventos extremos de lluvia (asociados con aguaceros), contrario con lo evidenciado en los otros pisos térmicos. En la mayoría de las estaciones de los pisos térmicos cálido (0 a 1.000 msnm), templado (1.001 a 2.000 msnm) y frío (2.001 a 3.000 msnm), se encontró una tendencia al aumento de las precipitaciones con alta intensidad (IDEAM, 2010b).

De acuerdo con la Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático del IDEAM, 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.

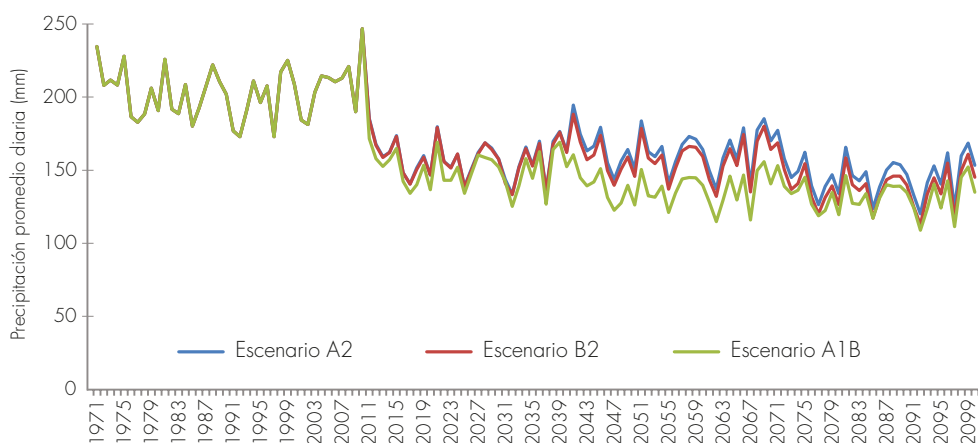


El promedio del ensamble multimodelo de Ruiz Murcia (2010), muestra que los valores en grandes porciones de Colombia se ubicarían entre sus valores normales y reducciones del 15%. Es decir que ante cambio climático continuaría lloviendo el 85% de la precipitación anual evaluada para clima presente 1971 – 2000. El resultado analizado solo desde el punto de vista, del escenario más pesimista calculó reducciones que, en promedio, pueden alcanzar valores de 36%; o sea llovería el 64% de la precipitación evaluada para clima presente 1971 – 2000.

Los lugares que en promedio, para el siglo XXI, presentarían las mayores reducciones de precipitación estarían ubicados en los departamentos de Huila, Putumayo, Nariño, Cauca, Tolima, Córdoba, Bolívar y Risaralda donde las lluvias se reducirían cerca al 15% con respecto a la climatología 1971 – 2000; mientras que, aumentos de la precipitación cercanos al 10% se ubicaran en amplias porciones de Chocó. Según los escenarios más pesimistas, las reducciones más significativas de lluvia a lo largo del siglo XXI se presentarían en Córdoba, Cauca, Bolívar, Caldas, Sucre, Valle, Antioquia, Nariño y Risaralda, donde llovería entre el 70 % y el 80 % de las precipitaciones registradas durante el período 1971 – 2000, es decir, reducciones entre el 20 y 30%.

En la figura 1, puede verse la tendencia general de las proyecciones de precipitación en Colombia, a partir de los escenarios de cambio climático propuestos. Esta tendencia muestra una reducción en la precipitación del país en los tres escenarios con respecto a la precipitación histórica observada. Este efecto se verá reflejado en los impactos calculados.

■ **Figura 1.** Comportamiento histórico y proyectado de la precipitación en Colombia. 1970-2100



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM.

### 2.3. Glaciares

Los glaciares colombianos son sensibles y vulnerables a pequeñas variaciones en el clima. Durante El Niño, donde las temperaturas son mayores y la precipitación disminuye notoriamente en la región Andina colombiana, se han encontrado pérdidas casi del doble de lo normal. En

periodos de La Niña, se ha observado una disminución en la tasa de pérdida e incluso pequeñas ganancias (Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales - IDEAM, 2010b).

En términos generales, todas las superficies de glaciares se encuentran expuestas a diferentes escenarios de aumento de temperatura. De persistir el calentamiento atmosférico, y con las tendencias actuales de derretimiento, es probable que en tres o cuatro décadas estén extintos los nevados colombianos o exista una muy pequeña masa glaciar en los picos más altos.

## 2.4. Nivel del Mar

Con base en los registros históricos de la estación mareográfica de Cartagena, se evidencia un ascenso del nivel del mar en el Caribe de aproximadamente 3,5 mm por año, atribuibles posiblemente al cambio climático global, entre otros factores. En Panamá, las mediciones realizadas en el puerto de Cristóbal muestran resultados similares de ascenso del nivel, aunque de menor magnitud. La tendencia calculada sobre la serie de datos es de 2,3 mm por año.

Para la costa Pacífica, la evaluación de los datos históricos de las mediciones del nivel en la estación mareográfica de Buenaventura y de otras estaciones comparables, muestran valores similares de ascenso del nivel del mar. La tendencia calculada sobre las series de datos en puntos costeros de Panamá y Ecuador, muestran incrementos entre 0,9 mm y 1,4 mm por año, y en Buenaventura el aumento es de 2,2 mm por año (Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales - IDEAM, 2010a).

# 3

## Impactos del cambio climático en el transporte

El sector transporte se encuentra continuamente sujeto a riesgos meteorológicos que impactan directamente su infraestructura y la eficiencia de sus operaciones, y causan lesiones y muertes en todos los modos de transporte (terrestre, acuático y aéreo). De igual forma, el cambio climático tiene repercusiones directas sobre todos los modos y altera sus operaciones o infraestructura dependiendo de la amenaza específica de la que se hable (temperatura, precipitación o nivel del mar). Además, la magnitud y el nivel de relevancia de estos impactos también varían según la manera en que cada amenaza altere el comportamiento normal de cada uno de los modos de transporte. Análisis detallados de los canales de impactos climáticos sobre el transporte se pueden encontrar en Easterling (2002), DOT (2002) y TRB (2008).

Partiendo de las tres grandes amenazas potenciales del cambio climático, teniendo en cuenta las características geográficas y climáticas de Colombia, y revisando la estructura y comportamiento del transporte terrestre, acuático y aéreo, se construyó una matriz (Anexo I) donde se listan los efectos que estas amenazas vienen provocando sobre la infraestructura y las operaciones de cada uno de los modos anteriores.



Luego de haber identificado impactos potenciales del cambio climático en transporte a gran escala, se seleccionaron los trece casos más relevantes. Para esto se siguieron dos criterios: el nivel de importancia del impacto dentro de Colombia y la disponibilidad de la información requerida para la construcción del modelo cuantitativo. Esto es derivado del hecho de que en Colombia existen grandes limitaciones con respecto a la generación de información necesaria para el estudio de los efectos del cambio climático.

A partir de los trece casos de impacto, se agregó a la matriz el grado de afectación en la infraestructura y las operaciones, y de cada uno de los tres modos de transporte (terrestre, acuático y aéreo) donde para cada caso se describe la información específica requerida para el desarrollo del modelo. Los resultados de este ejercicio se presentan en el anexo I.

## 4

# Metodología de la estimación del impacto del cambio climático sobre la productividad del sector transporte

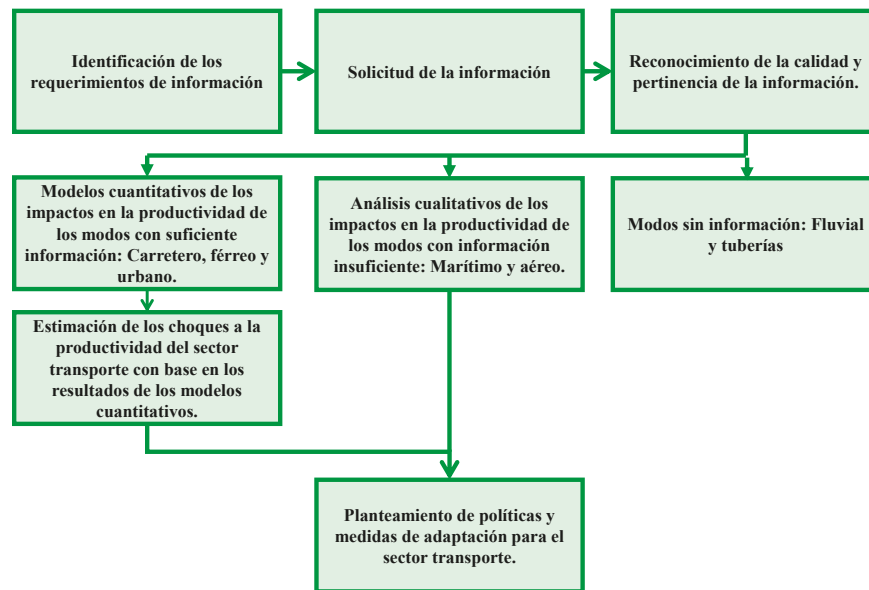
Con el objetivo de estimar los choques de las distintas amenazas del cambio climático sobre la productividad del transporte en Colombia, el estudio siguió la metodología que se describe en la figura 2.

El sector transporte en Colombia se divide en siete subsectores, de los cuales, se logró obtener información cuantitativa sobre la operación de los subsectores férreo y carretero, e información cualitativa de los subsectores urbano, marítimo y aéreo. No se contó con información de los subsectores fluvial y tuberías.

Para los subsectores que contaban con la información cuantitativa necesaria, se desarrollaron modelos que estiman los choques a la productividad asociados al cambio climático. En particular, se realizó una estimación para el horizonte de tiempo del año 2011 al 2100, que resultaría de los tres escenarios de proyección de precipitaciones desarrollados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM): A2, B2 y A1B. Cabe resaltar que la metodología aquí presentada asume implícitamente que la infraestructura carretera y férrea se mantiene tal y como se observa actualmente, es decir, no se evalúa el impacto sobre nuevas carreteras, ni se tienen en cuenta posibles proyectos de adaptación y fortalecimiento a la infraestructura.

Para los subsectores urbano, marítimo y aéreo, al no contar con suficiente información cuantitativa, se optó por elaborar análisis cualitativos los cuales pretenden poner en relieve las vulnerabilidades más importantes en cada uno de estos, y estimar, de manera cualitativa, el impacto que el cambio climático podría tener en cada subsector. En razón a las limitaciones de información, no se incluyeron análisis para los subsectores de transporte fluvial y transporte por tuberías.

■ **Figura 2.** Metodología empleada para la evaluación de los impactos económicos del cambio climático en transporte.



Fuente: Elaboración propia.

## 4.1. Cambios en la productividad del sector transporte

Con el fin de determinar los valores del impacto sobre la productividad de cada subsector de transporte, es importante entender la definición de productividad encontrada en la literatura internacional: “La productividad es, en su forma más fundamental, una relación entre productos e insumos utilizados para evaluar el desempeño de una entidad o proceso” (Timothy J. Coelli, 2005).

En algunas mediciones de productividad se asume un solo insumo o un solo producto. En otros casos, se hace referencia a un “factor total de productividad” que es una medida de productividad que incluye todos los factores, donde la mayoría se asumen como constantes (Timothy J. Coelli, 2005).

En los estudios a nivel internacional, hay todo tipo de métricas, salidas y entradas para medir la productividad del sector transporte. Algunas veces, se mezclan el transporte de pasajeros y de carga y no se tiene en cuenta el nivel de servicio (NTC, 2008). A pesar de que no existe un consenso, algunos productos comúnmente usados son: los ingresos o ingresos por pasajero, y algunos insumos son: mano de obra, combustible, infraestructura, equipos, capital, seguridad, costos, precios, entre otros (Kriem, 2010).

El presente estudio se circunscribe al análisis de los impactos del cambio climático en la operación normal de transporte y en particular, en la variación del desempeño del transporte de carga y pasajeros, y no en los daños ocasionados a la infraestructura asociada. Por tal razón, la aproximación al “factor total de productividad” de la operación de transporte será estimada como la capacidad de los sistemas de transporte de operar normalmente.



El impacto en la productividad del sector se determinó como una relación entre la variable seleccionada para aproximarse a la capacidad inicial de operación del subsector (capacidad para operar sin contratiempos) y la estimación de la capacidad usando las proyecciones bajo los escenarios de cambio climático provistos por el IDEAM. La tabla 1 muestra las variables empleadas para aproximarse al cálculo de los impactos de la productividad de cada subsector:

**Tabla 1.** Impactos sobre la productividad en el transporte carretero y férreo debido a eventos climáticos.

Subsector	Impacto relativo en la productividad	Descripción
Carretero	Tiempo de cierre de la vía en condiciones climáticas desfavorables/365 días.	El cambio en la productividad del transporte carretero se mide como la reducción de la disponibilidad de la vía, por efectos del clima.
Férreo	Tiempo de cierre de la vía en condiciones climáticas desfavorables/365 días.	El cambio en la productividad del transporte carretero se mide como la reducción de la disponibilidad de la vía, por efectos del clima.

Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores presentados en la tabla 1 y la determinación de su variación debido al cambio climático serán explicados con mayor detalle en la sección correspondiente de cada subsector.

## 4.2. Determinación de la participación de los subsectores en el sector.

Con el fin de reconocer la representatividad de cada subsector (urbano, carretero, marítimo, aéreo, etc.) dentro del sector transporte se tomó la información de la producción<sup>1</sup>, desagregada en las categorías usadas para la elaboración de las cuentas nacionales (tabla 2)<sup>2</sup>. En este caso en particular, las cuentas de producción corresponden a las ventas y la variación de inventarios de los servicios de transporte y complementarios a éste (este indicador es distinto al PIB).

Se puede observar entonces que la producción del sector transporte fue de 54,76 billones de pesos en el 2011. Teniendo en cuenta que la producción del total de la economía del país fue de alrededor de 928 billones de pesos en el 2011, el sector transporte correspondió al 5,9% de la producción de la economía.

<sup>1</sup> La producción está definida por el DANE "como un proceso físico, realizado bajo la responsabilidad, control y gestión de una unidad institucional, en el que se utilizan mano de obra y activos para transformar insumos de bienes y servicios en productos e otros bienes y servicios" (DANE, 2011).

<sup>2</sup> En un principio se optó por identificar la participación de cada modo en el PIB del sector transporte. Sin embargo, "el DANE no calcula el PIB a nivel de producto elemental" (DANE, 2011), lo cual quiere decir que esta institución sólo calcula el PIB para las cuentas: transporte terrestre, transporte por vía acuática y transporte por vía aérea, pero no se hace el cálculo de una forma desagregada diferenciando, por ejemplo, entre la participación del transporte carretero urbano e interurbano.



La información de la producción del sector transporte que reporta el DANE fue agregada de acuerdo a los subsectores definidos para el desarrollo del presente estudio. Por ejemplo, en el subsector urbano se incluyeron las cuentas: Transporte regular de pasajeros urbano y suburbano, incluido el especial (460101), Servicio de taxis (460103), Servicio de transporte no regular de pasajeros por vía terrestre, excepto el servicio de taxi urbano (460104) y servicios complementarios para transporte por carretera urbana (490103). La información agregada usada en el desarrollo del estudio se presenta en la tabla 3.

**Tabla 2.** Producción en el sector transporte por subsector, 2011

Código Cuentas Nacionales	Producto	Producción (miles de millones de pesos a precios básicos)
460101	Transporte regular, incluido el especial, de pasajeros (urbano y suburbano)	11.102,00
460102	Transporte regular, incluido el especial, de pasajeros (interurbano y otros)	3.840,00
460103	Servicio de taxis	6.898,00
460104	Servicio de transporte no regular de pasajeros por vía terrestre, excepto el servicio de taxi urbano	522,33
	Servicio de transporte no regular de pasajeros por vía terrestre, excepto el servicio de taxi inter urbano	180,67
460201	Transporte de carga por vía terrestre	15.190,00
460202	Transporte por ferrocarril (carga y pasajeros)	16,00
460300	Transporte por tuberías	3.072,00
470100	Transporte marítimo (internacional y de cabotaje) de pasajeros y de carga; alquiler de embarcaciones con tripulación y servicios de remolque	329,00
470200	Transporte no marítimo (fluvial) de pasajeros y de carga; alquiler de embarcaciones con tripulación y servicios de remolque	748,00
480100	Servicio de transporte aéreo de pasajeros regular y no regular y alquiler de aeronaves con tripulación	5.754,00
480200	Servicio de transporte aéreo de carga	787,00
490101	Servicios almacenamiento y de carga y descarga por vía terrestre	2.204,20
	Servicios almacenamiento y de carga y descarga por ferrocarril	2,32
	Servicios almacenamiento y de carga y descarga marítimo	47,74
	Servicios almacenamiento y de carga y descarga no marítimo	108,54
	Servicios almacenamiento y de carga y descarga aéreo	114,20

**Tabla 2. (continuación) Producción en el sector transporte por subsector, 2011**

Código Cuentas Nacionales	Producto	Producción (miles de millones de pesos a precios básicos)
490103	Servicios complementarios para transporte por carretera urbana	2.109,40
	Servicios complementarios para transporte por carretera interurbana	729,61
	Servicios complementarios para transporte por ferrocarril	2,99
490104	Servicios complementarios para transporte por vías de navegación marítima	43,38
	Servicios complementarios para transporte por vías de navegación fluvial	98,62
490105	Servicios complementarios para transporte por vía aérea	862,00
TOTAL TRANSPORTE		54.762,00

Fuente: (DANE, 2011).

**Tabla 3. Participación de cada subsector de transporte en la producción total del sector, 2011**

Subsector	Producción (miles de millones de pesos a precios básicos)	Participación en la producción <sup>3</sup>
Urbano	20.631,74	37,8%
Carretero	22.144,47	40,4%
Férreo	21,31	0,0%
Marítimo	420,12	0,8%
Fluvial	955,16	1,7%
Aéreo	7.517,20	13,7%
Tuberías	3.072,00	5,6%
<b>TOTAL</b>	<b>54.762,00</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia, con base en datos de DANE (2011)

Cabe destacar que las cuentas nacionales del DANE sólo consideran la producción de los servicios de transporte comercializados<sup>3</sup>. Por ejemplo, la mayor parte del transporte férreo se realiza de forma privada por las líneas de FENOCO y El Cerrejón, quienes no comercializan estos servicios en el mercado. Esto conlleva a que participación del subsector férreo en la producción del transporte reportada por el DANE sea 0%, aun cuando este modo transporta una cantidad de carga equivalente al 40% de la carga transportada por el transporte terrestre del país (Ministerio de Transporte, 2011). Pudo haber sucedido el mismo efecto con otros subsectores analizados, en los que no se tuvo en cuenta los servicios de transporte no comercializables (privados).

Teniendo en cuenta lo anterior, no se realizó ningún ajuste a los resultados presentados en la tabla 3, debido a que el uso de estas cuentas debe ser coherente con las definicio-

<sup>3</sup> Esto se puede evidenciar en el anexo II, que describe cada una de las cuentas nacionales pertenecientes al sector transporte.

nes dadas por el DANE. Por ejemplo, si se incluyera el transporte privado de las grandes empresas mineras del país en las cuentas del transporte por subsector férreo, se estarían agregando valores de las cuentas de producción minera a las cuentas de transporte (puesto que según las definiciones del DANE, los costos del transporte privado de minerales hacen parte de la cuenta de los costos de producción del sector minero).

### 4.3. Cálculo del impacto del cambio climático sobre la productividad del sector transporte.

Para calcular el impacto del cambio climático sobre la productividad de todo el sector transporte, se planteó la ecuación 1, que pondera el impacto del cambio climático sobre cada subsector usando su participación en la producción total del sector:

$$IPST = \sum_{s \in S} P_s \times I_s \quad (1)$$

Dónde:

**IPST** Impacto cuantificado sobre el sector transporte.

**S** Son los subsectores del sector transporte (urbano, carretero, férreo, marítimo, fluvial tubería y aéreo).

**P<sub>s</sub>** Participación del sector s en la producción del sector transporte.

**I<sub>s</sub>** Impacto del cambio climático sobre el subsector s en la producción del sector transporte.

Como se mencionó anteriormente, sólo hay resultados cuantitativos de modelaciones del impacto del cambio climático sobre la productividad del transporte férreo y el transporte carretero en los tres escenarios de cambio climático. Estos dos subsectores equivalen al 40,4% de la producción del sector y representan el 2,4% de la producción total de la economía del país (de 928 billones de pesos).

Para propósitos de este estudio, se asume que el impacto en los subsectores sin estimaciones cuantitativas es 0% (con el fin de no sobreestimar los efectos del cambio climático), dada la falta de información para su modelación. Por lo tanto, para los subsectores urbano, marítimo, aéreo, fluvial y por tuberías, se tiene que:

$$I_{urbano} = I_{maritimo} = I_{fluvial} = I_{tuberia} = I_{aereo} = 0\% \quad (2)$$

Teniendo en cuenta los porcentajes de participación asumidos para cada subsector en la producción del sector transporte, la ecuación para determinar el impacto del cambio climático sobre todo el sector queda de la siguiente forma:<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Como se explicó previamente, la participación del subsector férreo en la producción de la economía nacional es del 0% debido a que en las cuentas nacionales del DANE no se tienen en cuenta los servicios de transporte no comercializables. Además, se asume que el impacto del cambio climático en la productividad de los subsectores sin información cuantitativa (que corresponden a la 59,6% de la producción total del transporte) es 0% para evitar sobreestimarlos.



$$IPST = 40,4\% \times I_{carretero} + 0,0\% \times I_{f\acute{e}rreo} + 5,9,6\% \times 0\% \quad (3)$$

El resultado de la ecuación es un porcentaje que representa una estimación de los cambios en las operaciones del sector debido a las amenazas del cambio climático. Asumiendo los supuestos mencionados, este sólo es afectado por los cambios en las operaciones de los subsectores férreo y carretero, bajo los escenarios de precipitación planteados por el IDEAM.

## 5

# Evaluación cuantitativa del impacto del cambio climático sobre subsectores del sector transporte

Teniendo en cuenta los indicadores de impacto a la productividad definidos previamente, los modelos del subsector carretero y del subsector férreo tienen en cuenta que el principal impacto sobre la productividad corresponde al cierre de las vías debido a los deslizamientos de tierra asociados a los aumentos en las precipitaciones. Para complementar estos análisis, otros impactos de la variabilidad del clima sobre estos subsectores son analizados de manera cualitativa en la sección 6.

A continuación, se hace una breve descripción de los subsectores y sus impactos potenciales debido al cambio climático, se presenta la metodología y se muestran los resultados de los modelos cuantitativos planteados para cada uno de estos subsectores del transporte.

## 5.1. Análisis del transporte carretero en Colombia

El subsector carretero es el modo de transporte más importante en Colombia y es el que aporta en mayor medida a la producción total del sector: transportó más del 90% de los pasajeros y más del 70% de las toneladas de la carga del país en el 2010 (Ministerio de Transporte, 2011).

Esta relevancia del modo carretero, se debe a la topografía del país, las grandes distancias que deben recorrerse para comunicar los centros de producción y consumo, así como los puertos, y la falta de infraestructura construida para otros modos (férreo, fluvial, etc.) o sus costos. Por lo tanto, cualquier impacto en su productividad influye directamente en el desempeño de muchos sectores de la economía.

Durante el desarrollo del presente estudio, se encontró que los dos impactos principales del clima sobre la operación del transporte carretero en Colombia son la inundación de las carreteras costeras debido al Aumento en el Nivel del Mar (ANM) y el cierre de las vías debido a los deslizamientos de tierra asociados a la precipitación. El primero no pudo estimarse de forma cuantitativa debido a la falta de información sobre las proyecciones del nivel del mar y de mapas de elevación de las vías. Por esta razón, se presenta el análisis cualitativo de este impacto en la sección 6. El segundo fue modelado de forma cuantitativa usando los escenarios del IDEAM y sus resultados se presentan a continuación.

## Metodología y resultados del modelo

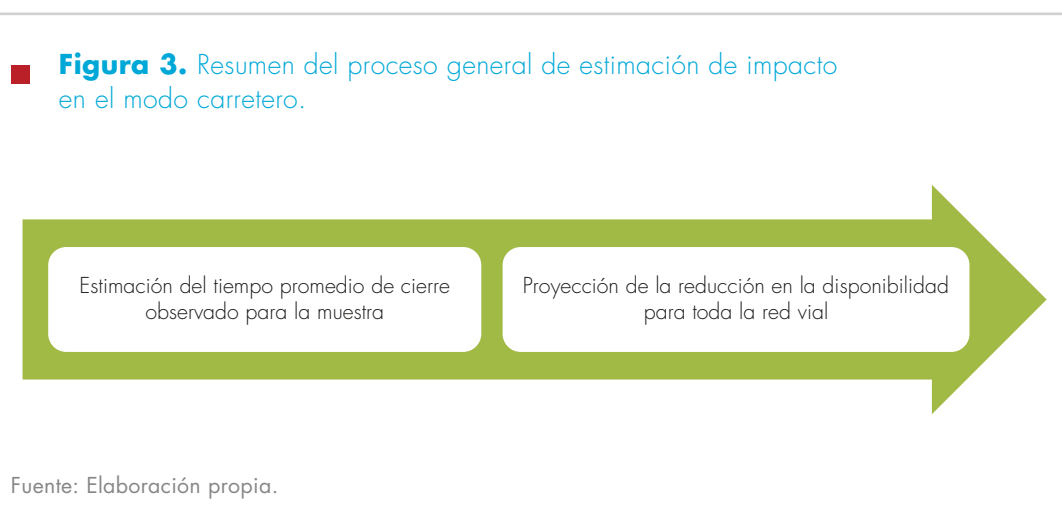
En el presente estudio, la pérdida de productividad del modo carretero asociada al clima, se estimó como la reducción de la disponibilidad de las vías debida a cierres por deslizamientos. Esta reducción se calculó con base en las horas promedio al año que se espera que las vías permanezcan cerradas, en cada zona de amenaza por remoción en masa y por cada escenario de cambio climático. En la tabla 4, se presentan las fuentes de información utilizadas en el desarrollo del modelo.

**Tabla 4.** Fuentes de información consultadas para el desarrollo del modelo del impacto sobre el subsector carretero.

Contenido de la Información	Fuente
Series históricas de precipitación en las estaciones meteorológicas del IDEAM (2007-2012). Datos proyectados de precipitación mensual desde el año (1971-2100), bajo los escenarios A2, B2, A1B.	IDEAM
Estudio "La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria".	Moreno et al. (2006)
Coberturas geográficas: Amenaza por remoción en masa en Colombia. Cobertura geográfica: Red vial primaria. Zonificación por Precipitación.	IGAC
Bases de datos de deslizamientos ocurridos sobre la red vial concesionada a cargo de la ANI de los años 2011-2012.	Superintendencia de puertos y transporte

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar la reducción de la disponibilidad de la red vial, se elaboró un modelo que consiste en dos etapas principales, que se muestran en la figura 3 y se describen a continuación:





## Etapa 1. Estimación del tiempo promedio de cierre observado para la muestra

En la etapa, se analizó la relación histórica entre las precipitaciones y los tiempos de cierre para una muestra de eventos de cierre vial por deslizamiento ocurridos en el período 2011 – 2012, en la red vial concesionada. Para este análisis, el consultor construyó una metodología basada en el estudio “La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria” realizado por Moreno et al. (2006). (Ver recuadro 1).

La metodología construida para la estimación del tiempo promedio de cierre observado para la muestra, consistió en el desarrollo de los siguientes 6 pasos:

1. Clasificación de la red vial en zonas de amenaza por remoción en masa
2. Selección de la muestra de tramos por zona de amenaza
3. Descripción y gráfico de cada evento de cierre vial de la muestra, por zona de amenaza
4. Definición de las “categorías representativas de lluvia” para cada zona de amenaza
5. Descripción y clasificación de cada día-tramo del período, por zona de amenaza
6. Cálculo del tiempo promedio de cierre observado por “categoría representativa de lluvia”, para cada zona de amenaza

A continuación, se describe cada uno de estos pasos en detalle:

### Clasificación de la red vial en zonas de amenaza por remoción en masa

Con el fin de tener en cuenta la incidencia de la topografía y las características de los suelos en la ocurrencia de cierres viales por deslizamientos para diferentes regiones del país, se clasificó la red vial primaria en las zonas de amenaza por remoción en masa propuestas por Ingeominas<sup>5</sup>. De los 5 grados de amenaza originales, se agruparon los grados “Muy Alto” y “Muy Bajo” con “Alto” y “Bajo” respectivamente, debido a la falta de información representativa de precipitación y duración de eventos de cierre vial para modelar cada extremo por separado.

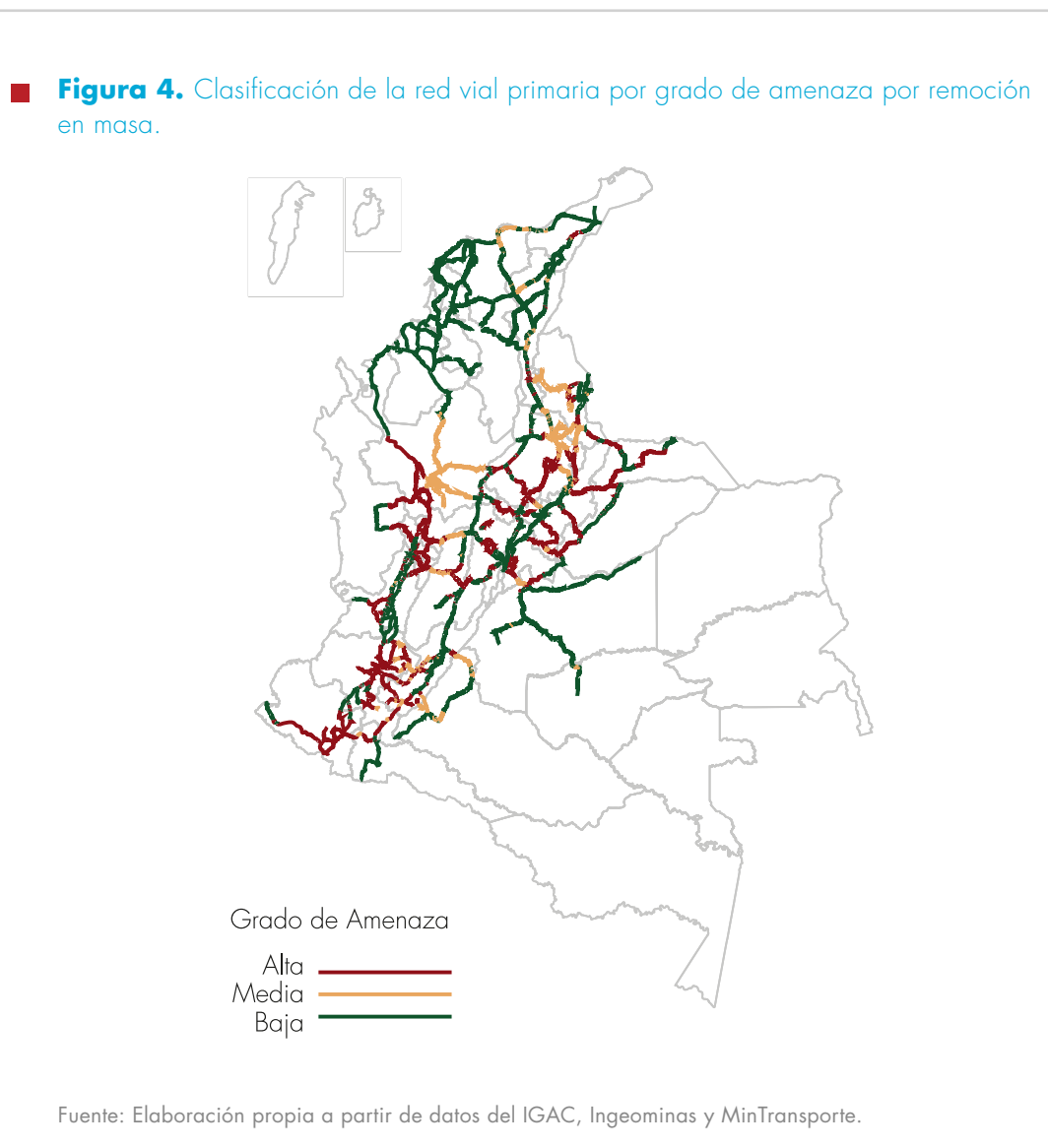
En la figura 5 se presenta el mapa resultado de la clasificación de la red vial por zona de amenaza. A partir de este paso, cada una de las zonas de amenaza (Alta, Media y Baja) fue analizada de forma independiente para obtener un tiempo promedio de cierre para cada una de ellas. De forma complementaria se calcularon las proporciones de la red vial correspondiente a cada zona de amenaza, para usarlas más adelante en el modelo (tabla 5):

5 Los grados de amenaza por remoción en masa definidos por Ingeominas, agrupan los suelos de acuerdo a características que los hacen vulnerables a fenómenos de remoción en masa como: formaciones geológicas presentes, pendiente del terreno, afectación tectónica, impactos antrópicos en los suelos, entre otros. Las zonas de amenaza baja son aquellas de relieve moderado o llano y suelos conformados por depósitos aluviales principalmente; las zonas de amenaza media son aquellas con relieve fuerte y condiciones naturales débiles que las hacen propensas a deslizarse; las zonas de amenaza alta son aquellas con pendientes fuertes, fracturamiento de las rocas y afectaciones tectónicas y antrópicas. IGAC

**Tabla 5.** Distribución porcentual de la red vial primaria por zona de amenaza por remoción en masa.

Grado de amenaza	Longitud en Zona de Amenaza (Km)	Proporción de red vial por Zona de Amenaza
Alta	5.496	34,92%
Media	2.062	13,10%
Baja	8.180	51,97%
<b>Total</b>	<b>15.740</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ingeominas y MinTransporte.





### Recuadro 1.

#### “La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria” (Moreno et al., 2006)

Según el estudio “en Colombia, la razón principal del cierre de las vías es la ocurrencia de deslizamientos de tierra, siendo la lluvia uno de los elementos desencadenantes y decisivos para la ocurrencia de la mayoría de estos”. Para analizar este efecto, la metodología propuesta relaciona la ocurrencia de un deslizamiento con dos variables para describir cada uno: la lluvia acumulada antecedente (ocurrida en los 3 días previos al deslizamiento) y la lluvia acumulada precedente (ocurrida en los 15 días previos a la lluvia antecedente). Cada una de ellas consiste en la suma de las láminas de agua precipitadas en cada uno de estos períodos.

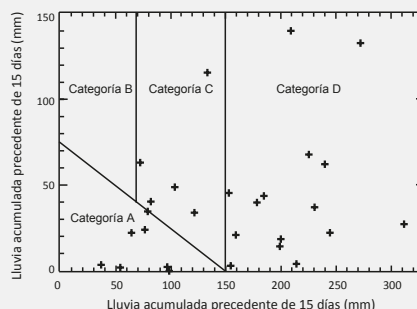
Estas variables sirven para representar gráficamente los deslizamientos y construir a partir de ellas “categorías representativas de lluvia” (el documento original usa la palabra regiones) que agrupan los deslizamientos según la precipitación que los caracteriza. La figura 5, adaptada de Moreno et al. (2006), muestra un ejemplo de este análisis, al clasificar los eventos en las categorías A, B, C y D. Estas categorías obedecen a diferentes combinaciones de lluvia antecedente (últimos tres días) con lluvia precedente (últimos 15 días). El documento señala en este sentido que “la mayor parte de los deslizamientos ocurren cuando la lluvia acumulada hasta el día del evento fue considerable o cuando la lluvia en el día del deslizamiento fue excepcional”. Estos dos casos estarían representados en las “categorías” D y B respectivamente, sin embargo, no se observan eventos en la “categoría” B. Esto quiere decir que los deslizamientos estarán mayormente asociados a la acumulación de agua en los suelos, debida a la precipitación ocurrida en los 18 días previos al deslizamiento (lluvia acumulada precedente alta, representada por la “categoría” D). Una vez definidas las “categorías”, el autor describe los días calendario del período de estudio construyendo para ellos las mismas variables usadas para los deslizamientos y clasificándolos en las “categorías” construidas. De este análisis obtiene el número de deslizamientos y de días calendario clasificados en cada categoría y calcula la fracción:

$$Pd_i = \frac{\text{Número de eventos en la categoría } i}{\text{Días calendario en la categoría } i} \quad (4)$$

El resultado es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento ( $Pd_i$ ) dado que un día sea clasificado en la “categoría” respectiva ( $i$ ).

■ **Figura 4.** Representación de deslizamientos y “categorías representativas de lluvia”.

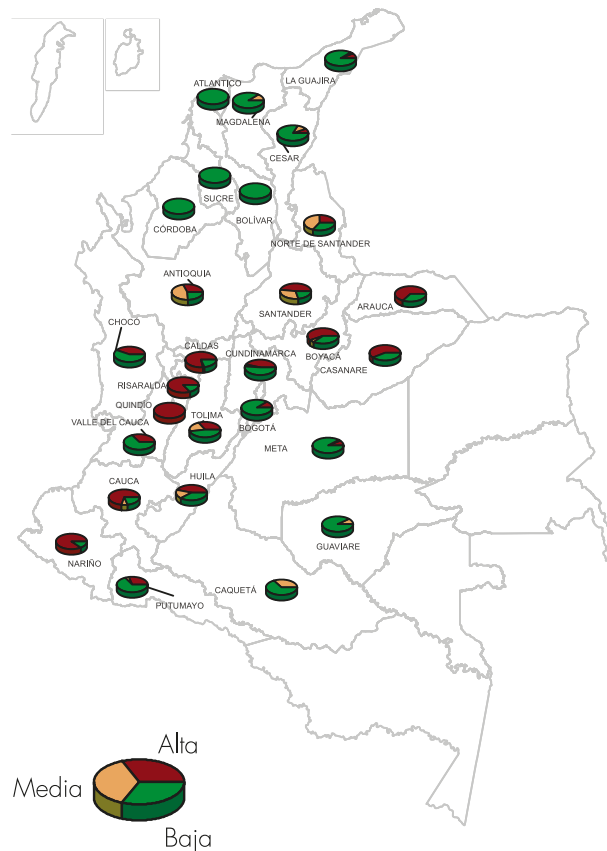
Fuente: Adaptación de Moreno et al. (2006).





De forma similar, se estimó la proporción de la red vial clasificada por zona de amenaza en cada departamento. La proporción de la longitud de la red vial por tipo de amenaza se puede ver en la figura 6 y el anexo III.

■ **Figura 6.** Proporción de la Red Vial según la zona de Amenaza por Remoción en Masa por departamento.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGAC, Ingeominas y MinTransporte.

## b. Selección de la muestra de tramos por zona de amenaza

Para cada zona de amenaza se seleccionó una muestra de tramos. Los tramos seleccionados en la muestra fueron aquellos para los cuales se contaba con buena información sobre la duración de cierres en las vías y la precipitación histórica en estaciones cercanas. Siguiendo las recomendaciones de Moreno et al., (2006), se seleccionaron las estaciones cercanas a cada tramo en un radio de 5 km y se promedió la precipitación diaria registrada. De esta manera, se obtuvo la precipitación promedio para cada día del período 2011 – 2012, por tramo de la muestra.

La información detallada de eventos de cierre vial solamente estaba disponible para la red vial concesionada de la ANI para el período 2011 – 2012. La información obtenida



del IDEAM sólo incluyó la precipitación diaria entre los años 2007 y 2012 para 381 estaciones.

En cuanto a la asociación de los eventos con los tramos, fue necesario llevar a cabo el procedimiento de forma manual, debido a que éstos no se encuentran georreferenciados. La base de datos de los eventos ocurridos entre los años 2011 y 2012 sobre la red concesionada contenía información de: nombre del proyecto, tramo o trayecto, identificación de la vía, sector o sitio y abscisa<sup>6</sup>. Esto impuso una limitante para el modelo, ya que muchas veces se tenía información de eventos relacionados a los tramos pero no de precipitaciones en estaciones aledañas a los mismos, o tramos con información histórica de precipitación en estaciones cercanas pero sin reporte detallado de eventos. Los tramos seleccionados para cada zona de amenaza, se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.** Tramos viales analizados por zona de amenaza.

Zona de Amenaza	Concesión	Tramo	
<b>Baja</b>	Briceño - Tunja - Sogamoso	Trayecto 5	
		Trayecto 6	
		Trayecto 8	
		Trayecto 9	
		Trayecto 13	
		Trayecto 14	
		Trayecto 17	
<b>Media</b>	Córdoba - Sucre	Ciénaga de Oro - La Ye	
		El Piñal - Ovejas	
		Sincelejo - Corozal	
		Desarrollo Oriente Medellín y Valle de Rionegro, Conexión a Puerto Triunfo	Santuario - Caño Alegre
			Medellín - Santuario
			Medellín - La Ceja - La Unión
			Medellín - Te Aeropuerto
Medellín - Don Diego - La Ceja			
Zamora (Bello) - T. Aeropuerto			
T. Aeropuerto - Santuario			
<b>Alta</b>	Concesión Vial Zona Metropolitana de Bucaramanga	Concesión Vial Zona Metropolitana de Bucaramanga	
	U.T. Comuneros	San Gil - Socorro/Socorro - San Gil	
		Oiba - Socorro	
	Rumichaca - Pasto - Chachagüí - Aeropuerto	Barbosa - Oiba	
	Malla Vial del Meta	Ipiales - Pasto	
		Villavicencio - Cumaral	

Fuente: Elaboración propia.

<sup>6</sup> A partir de esta información fue posible ubicar los eventos según el tramo o la vía. La información de las abscisas no fue utilizada ya que la ANI no suministró los puntos a partir de los cuales se miden las distancias.

### c. Descripción y gráfico de cada evento de cierre vial de la muestra, por zona de amenaza

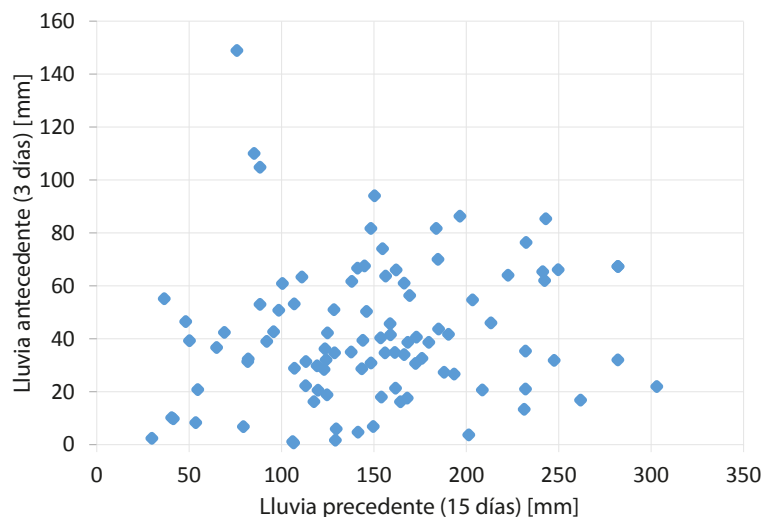
Para cada uno de los tramos en la muestra, se identificaron los eventos de cierre vial causados por deslizamientos, los cuales se describieron con dos variables: la lluvia antecedente (aquella ocurrida en los tres últimos días previos al evento) y la lluvia precedente (aquella ocurrida en los 15 días previos a la lluvia antecedente).

Usando estas dos variables se graficaron los eventos de cierre, discriminados por zona de amenaza. La figura 7 presenta, a manera de ejemplo, las zonas de amenaza media para los eventos de cierre.

### d. Definición de las “categorías representativas de lluvia” para cada zona de amenaza

El documento usado como referencia no indica los criterios de selección de los umbrales que definen las “categorías representativas de lluvia”. Es por esto que se realizaron pruebas para definir el criterio que sería usado para la modelación en el desarrollo de este estudio. Primero se usaron los umbrales definidos en el estudio consultado y se llevó a cabo el proceso descrito en los pasos siguientes de esta etapa. Sin embargo, los resultados no eran coherentes con la base conceptual del mismo estudio de Moreno et al. (2006): la mayor ocurrencia de deslizamientos y la mayor duración de los cierres que estos producen, se relacionan con situaciones de lluvia precedente alta (Ver recuadro 1). Es así como un día de poca lluvia precedente (tipo A) no debería presentar deslizamientos más frecuentes y con mayor duración de cierre que un día de lluvia precedente considerable (tipo D).

■ **Figura 7.** Eventos de cierre para la zona de amenaza media, según sus características de lluvia, 2011-2012

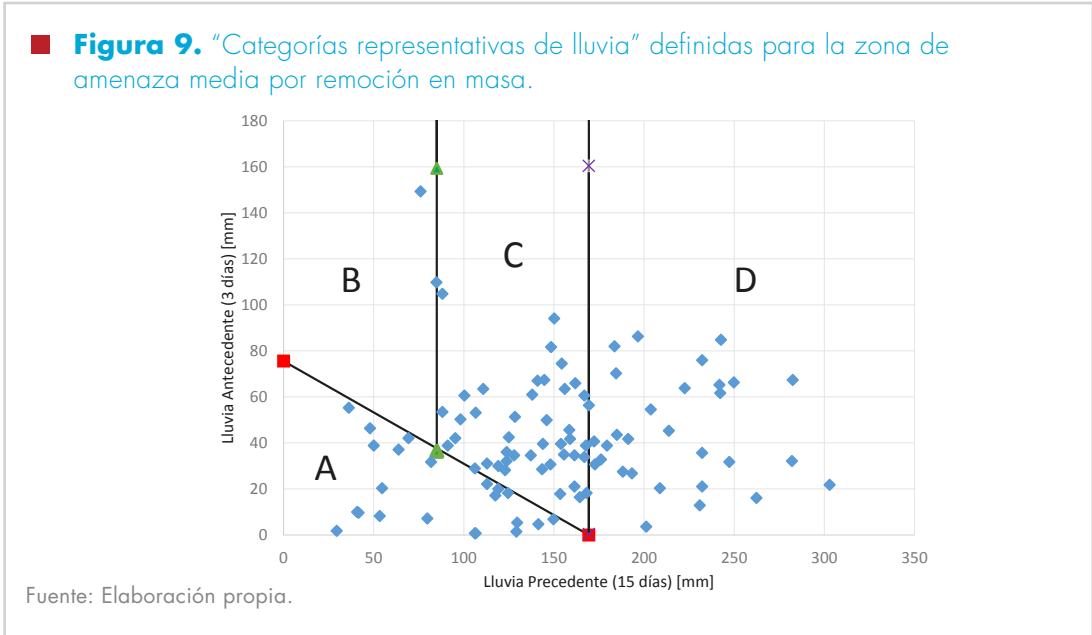
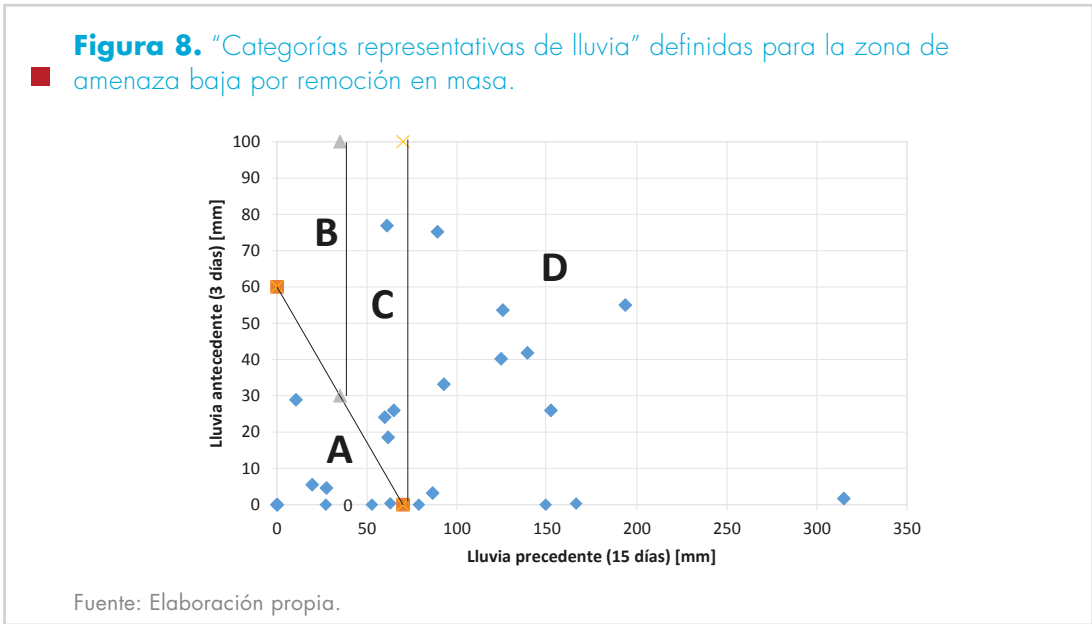


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IDEAM y ANI.

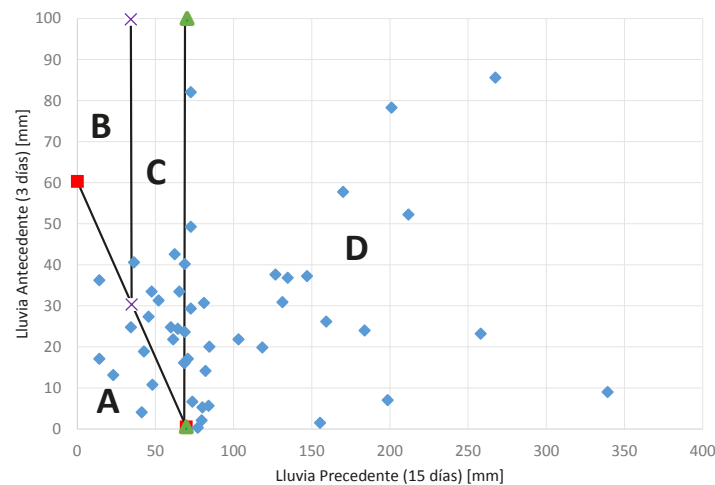


Luego de hacer el análisis con los umbrales propuestos en el documento y evidenciar la inconsistencia de los resultados, se decidió utilizar la relación entre el umbral B/C y C/D (1:2) y las proporciones de eventos por "categoría" que se muestran en los resultados del estudio: A 25%; B 0%; C 20%; D 55%, para definir los umbrales que fueran coherentes con el marco conceptual seleccionado.

Se tomaron entonces las figuras de eventos de cierre para cada zona de amenaza obtenidas del paso anterior y se seleccionaron para cada una umbrales que satisficieran las dos condiciones: que las proporciones de eventos en cada categoría fueran lo más cercanas posible a las del estudio de referencia y que la relación entre el umbral B/C y C/D se mantuviera (1:2). En las figuras 8, 9 y 10 a continuación, se presentan las zonas de amenaza con los umbrales definidos:



■ **Figura 10.** “Categorías representativas de lluvia” definidas para la zona de amenaza por remoción en masa alta.



Fuente: Elaboración propia.

Estas “categorías” se mantuvieron a lo largo del estudio y fueron usadas como se describe en cada sección a continuación.

### e. Descripción y clasificación de cada día-tramo del período por zona de amenaza

El día-tramo es la unidad de análisis seleccionada para representar cada uno de los días calendario del período 2011 – 2012, en cada uno de los tramos de la muestra, para cada zona de amenaza. Esto quiere decir que se analizaron 16.790 días-tramo para todas las zonas de amenaza 7.300 en Baja (10 tramos), 5.840 en Media (8 tramos) y 3.650 en Alta (5 tramos); 730 días calendario para cada tramo de estudio. Para describir cada uno de estos días-tramo se usó un procedimiento similar al empleado en el paso c. para describir los eventos de cierre; tres variables fueron estimadas: la lluvia antecedente, la lluvia precedente y la duración de los eventos de cierre.

Usando las variables lluvia antecedente y lluvia precedente estimadas para cada día-tramo y las “categoría” definidas en el paso d., se clasificaron los días-tramo en la “categoría” correspondiente (A, B, C o D).

### f. Cálculo del tiempo promedio de cierre observado por “categoría”, para cada zona de amenaza

Para terminar esta etapa, se promedia la duración de los eventos de cierre de los días-tramo clasificados de acuerdo al paso anterior, obteniendo el tiempo promedio diario (min/día) en que las vías estudiadas estuvieron cerradas debido a los patrones de precipitación observados para cada “categoría representativa de lluvia” por zona de amenaza, los resultados se presentan en la tabla 7.



**Tabla 7.** Tiempo promedio (min/día) de cierre observado por “categoría”, para cada zona de amenaza.

Zona de Amenaza	“Categoría representativa de lluvia”			
	A	B	C	D
Baja	14	-	120	77
Media	13	99	157	177
Alta	1	-	7	710

Fuente: Elaboración propia.

## Etapa 2. Proyección de la reducción en la disponibilidad para toda la red vial

En esta etapa, se usó la metodología explicada previamente para proyectar el impacto del clima bajo escenarios de cambio climático. Para esto, se tomó el resultado del tiempo promedio de cierre observado en la muestra y se asignó a los días del período de proyección (2013 – 2100), se promediaron los datos y se estimó la reducción en la disponibilidad de la red vial debida a cierres por deslizamientos.

El proceso llevado a cabo consistió en el desarrollo de los siguientes cinco pasos:

1. Transformación de las proyecciones de precipitación mensuales en proyecciones diarias
2. Descripción de cada día-estación y clasificación en “categorías representativas de lluvia” para cada zona de amenaza
3. Asignación del tiempo promedio de cierre diario a cada día-estación, según su clasificación por “región”, para cada zona de amenaza
4. Estimación de la reducción anual en la disponibilidad de la red vial nacional por zona de amenaza
5. Ponderación de reducciones de disponibilidad de la red vial nacional entre zonas de amenaza

A continuación, se describe cada uno de estos pasos en detalle:

### a. Transformación de las proyecciones de precipitación mensuales en proyecciones diarias

Las proyecciones de precipitación provistas para los escenarios de cambio climático son mensuales, mientras que la metodología requiere proyecciones diarias de precipitaciones. Por tanto, fue necesario realizar un proceso de estimación de precipitaciones diarias.

Este proceso consistió en clasificar las estaciones del IDEAM cercanas a la red vial en zonas de precipitación, seleccionar al azar una estación “tipo” para cada zona de precipitación por zona de amenaza y estimar la proporción de la lluvia mensual que, en promedio, ocurre cada

día del año en cada estación y distribuir la precipitación mensual proyectada de las estaciones de interés, usando el comportamiento diario de la estación "tipo" de la zona de precipitación respectiva. Este proceso se describe de manera más detallada en las siguientes cuatro fases:

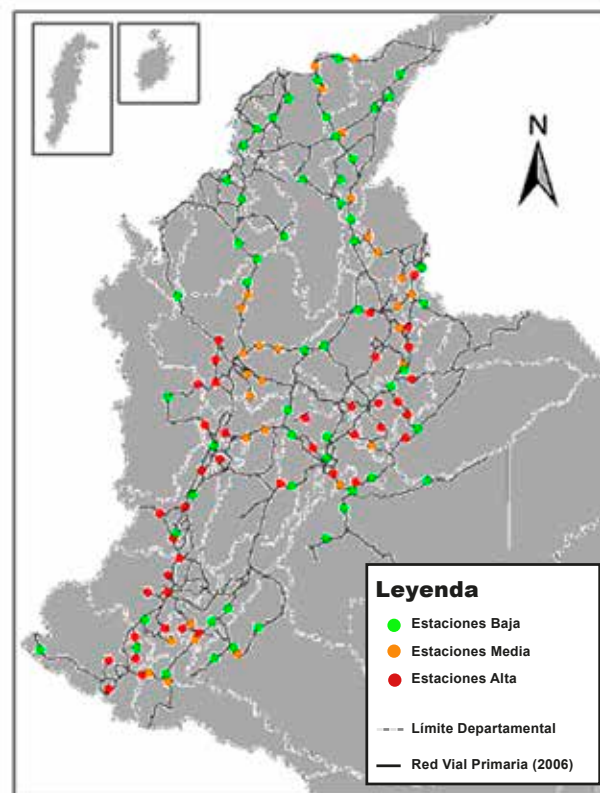
- a. a.** Selección de estaciones representativas de la red vial nacional, por zona de amenaza
- a. b.** Clasificación de las estaciones seleccionadas en regiones geográficas por precipitación
- a. c.** Determinación del comportamiento diario de una estación "tipo" por zona de precipitación para cada zona de amenaza
- a. d.** Distribución de las proyecciones de precipitación mensuales a precipitación diaria usando el comportamiento diario de la estación "tipo"

A continuación, se describe cada una de estas fases en detalle:

#### a.a. Selección de estaciones representativas de la red vial nacional por zona de amenaza

Para la selección de las estaciones en las que se aplicaría del modelo, se tuvieron en cuenta 2 criterios: que estuvieran a menos de 5 Km de la red vial (según la recomendación de Moreno et al., 2006), y que contaran con información de precipitación histórica y proyectada. Las estaciones seleccionadas, discriminadas por zona de amenaza, se presentan en la figura 11.

■ **Figura 11.** Estaciones seleccionadas para la expansión, por zona de amenaza.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IDEAM, MinTransporte e IGAC



a. b. Clasificación de las estaciones seleccionadas en regiones geográficas por precipitación

Teniendo en cuenta la necesidad de distribuir las proyecciones de precipitación mensuales en precipitación diaria y la diversidad climática del país, se buscó una aproximación para describir el comportamiento diario de diferentes zonas climáticas representativas del país. Se utilizó entonces la cobertura geográfica “Zonificación por Precipitación” del IGAC para clasificar las estaciones seleccionadas de acuerdo a esta última. Las categorías definidas por el IDEAM y las demás entidades a cargo de la información, se describen en la tabla 8.

**Tabla 8.** Descripción de la zonificación por precipitación.

Zona de precipitación	Rango de precipitación [mm/año]
Árido	< 500
Muy Seco	501 – 1000
Seco	1001 – 2000
Húmedo	2001 – 3000
Muy Húmedo	3001 – 7000
Pluvial	> 7000

Fuente: IGAC.

Debido a la baja proporción del territorio clasificada en algunas de las categorías, las zonas “Árido”, “Muy Seco” y “Seco” se agruparon en “Seco” y las zonas “Muy Húmeda” y “Pluvial” en “Muy Húmeda”. De esta manera, se trabajó con tres zonas de precipitación: Seco, Húmedo y Muy Húmedo.

A partir de su ubicación geográfica, se clasificaron las estaciones del IDEAM seleccionadas en la fase anterior según la zona de precipitación en la que se encuentra (“Seca”, “Húmeda” y “Muy Húmeda”). El resultado de esta clasificación se muestra en la figura 12.

a. c. Determinación del comportamiento diario de una estación “tipo” por zona de precipitación para cada zona de amenaza

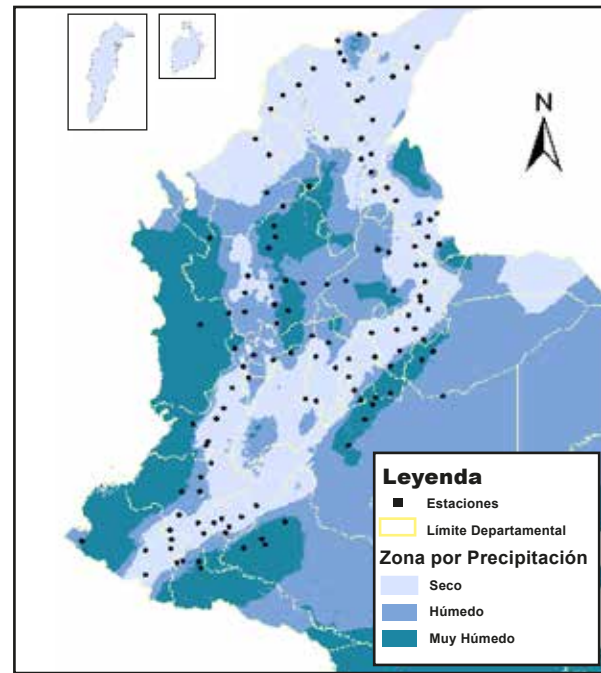
Con base en este mapa se seleccionó aleatoriamente una estación para cada zona de precipitación y de amenaza, que en adelante se denominará estación “tipo”. De esta se obtuvo su comportamiento promedio de precipitación diaria entre 2007 y 2012, que se expresó en términos de la proporción de lluvia mensual que ocurre cada día. A manera de ejemplo, la figura 13 presenta el comportamiento diario de la estación “tipo” de la zona de precipitación “Muy Húmedo”, para el mes de enero, en la zona de amenaza “Alta”.

a. d. Distribución de las proyecciones de precipitación mensuales a precipitación diaria usando el comportamiento diario de la estación “tipo”

El comportamiento diario de precipitación obtenido para cada zona de precipitación por zona de amenaza, se usó para distribuir las proyecciones mensuales de lluvia de 2015 a

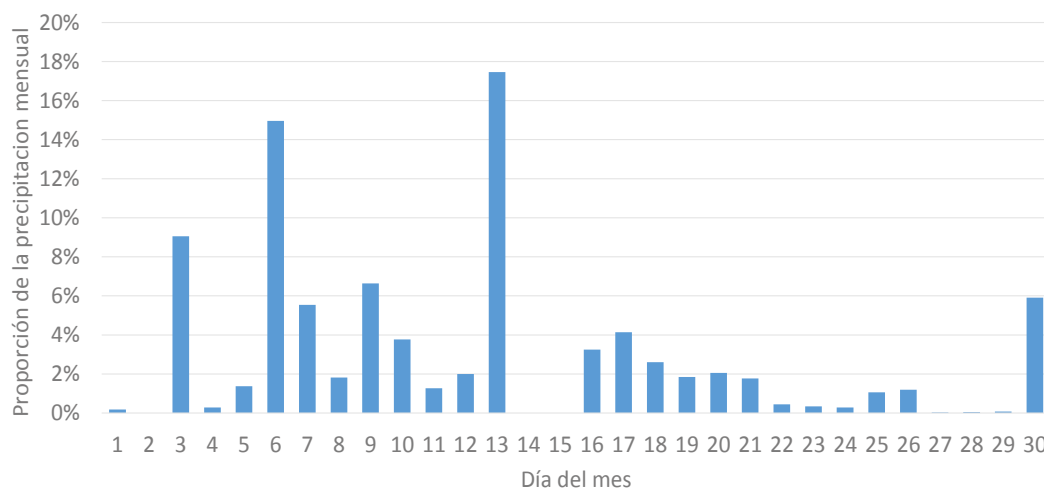


■ **Figura 12.** Mapa zonificación por precipitación Colombia.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IDEAM e IGAC.

■ **Figura 13.** Ejemplo de comportamiento diario de una estación "tipo".



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IDEAM.

2100 en las estaciones seleccionadas, teniendo en cuenta su clasificación respectiva por zonas de precipitación y amenaza. Como resultado de este paso, se obtuvo una estimación de la precipitación diaria proyectada de las estaciones seleccionadas y para los tres escenarios de cambio climático.



### b. Descripción de cada día-estación y clasificación en “categorías representativas de lluvia” para cada zona de amenaza

De forma similar al paso e. de la etapa anterior, el día-estación es cada uno de los días calendario del período 2015-2100<sup>7</sup> en cada una de las estaciones seleccionadas para la aplicación del modelo. Estos fueron descritos con las variables lluvia antecedente y lluvia precedente. Nuevamente, estas dos variables fueron usadas para clasificar cada día-estación en las “categorías” establecidas en el paso d. de la etapa anterior.

### c. Asignación del tiempo promedio de cierre diario a cada día-estación, según su clasificación por “categoría” para cada zona de amenaza

A partir de la clasificación anterior, se asignó a cada día-estación el tiempo promedio de cierre diario correspondiente a su “categoría” y zona de amenaza, calculado en la etapa anterior (tabla 7). Este tiempo luego se promedió entre las estaciones de una misma zona de amenaza para obtener el tiempo promedio al día que se estima estará cerrada la red vial nacional perteneciente a cada zona de amenaza.

### d. Estimación de la reducción anual en la disponibilidad de la disponibilidad de la red vial nacional por zona de amenaza

El resultado diario del paso anterior se dividió entre el tiempo total del día (1440 minutos) para estimar el porcentaje diario de reducción de la disponibilidad de la red vial por zona de amenaza. Este resultado diario fue promediado para todo el año y se obtuvo la reducción anual promedio en la disponibilidad de la red vial primaria para cada zona de amenaza. El resultado de este paso es la fracción del tiempo que la red vial de cada zona de amenaza (“Alta”, “Media” y “Baja”) estará cerrada debido a cierres por deslizamientos causados por los patrones de precipitación en los tres escenarios de cambio climático provistos (A2, B2 y A1B).

### e. Ponderación de reducciones de disponibilidad de la red vial nacional entre zonas de amenaza

Para obtener la reducción en la disponibilidad de la totalidad de la red vial primaria del país para cada escenario de cambio climático, se ponderaron los resultados del paso anterior usando las proporciones de red vial por zona de amenaza halladas en el paso a. de la etapa anterior (tabla 5).

## Resultados

Los resultados hasta el año 2100 se presentan en la tabla 9 y la figura 14. Como se mencionó anteriormente, la reducción estimada para el año final del quinquenio se usó para representar el promedio del mismo.

<sup>7</sup> Para simplificar el cálculo y la modelación no se usaron todos los años, sino solamente los que marcan el inicio de cada quinquenio: 2015, 2020, 2025, etc. Se asume que este año representa el comportamiento promedio del quinquenio.

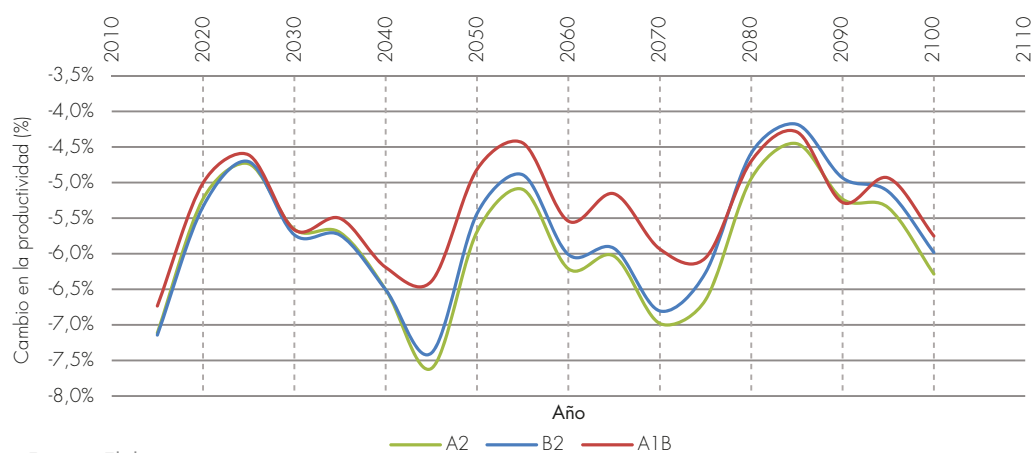
**Tabla 9.** Impacto del cambio en los patrones de precipitación sobre el subsector carretero, 2011-2100

Quinquenio	Escenario		
	A2	B2	A1B
2011-2015	-7,1%	-7,1%	-6,7%
2016-2020	-5,2%	-5,3%	-5,0%
2021-2025	-4,7%	-4,7%	-4,6%
2026-2030	-5,7%	-5,7%	-5,7%
2031-2035	-5,7%	-5,7%	-5,5%
2036-2040	-6,5%	-6,5%	-6,2%
2041-2045	-7,6%	-7,4%	-6,4%
2046-2050	-5,7%	-5,4%	-4,8%
2051-2055	-5,1%	-4,9%	-4,4%
2056-2060	-6,2%	-6,0%	-5,5%
2061-2065	-6,0%	-5,9%	-5,2%
2066-2070	-7,0%	-6,8%	-5,9%
2071-2075	-6,7%	-6,3%	-6,1%
2076-2080	-4,9%	-4,6%	-4,7%
2081-2085	-4,5%	-4,2%	-4,3%
2086-2090	-5,2%	-4,9%	-5,3%
2091-2095	-5,4%	-5,1%	-4,9%
2096-2100	-6,3%	-6,0%	-5,8%

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos resultados, se puede observar que la reducción en la disponibilidad de la red vial país oscila entre el 4,2% y el 7,6% para el periodo 2011-2100. Esto quiere decir que dependiendo del año y del escenario de precipitaciones que se presente, las vías estarán operando normalmente entre un 92,4% y un 95,8% del tiempo total.

■ **Figura 14.** Cambio en la productividad del subsector carretero debido al cambio climático, 2011-2100



Fuente: Elaboración propia.



De forma similar, podrían distribuirse por departamento los impactos calculados por tipo de amenaza y escenario usando la proporción de red vial que se muestra en el anexo III en lugar de las proporciones a nivel nacional.

## 5.2. Análisis del transporte férreo en Colombia

Según estadísticas de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) para el año 2010 se transportaron 66,9 millones de toneladas por ferrocarril, de los cuales el carbón representa más del 99% de la carga movilizada. Dentro de las líneas que transportan carbón, se encontró que las más importantes son la Red Férrea del Atlántico a cargo de FENOCO S.A., con 42 millones de toneladas movilizadas por año, y las líneas privadas del Cerrejón, con aproximadamente 23 millones de toneladas transportadas anualmente. El volumen de carga de la línea Bogotá - Belencito es de tan solo el 0,4% del total nacional, correspondiente a cemento principalmente. En la red del pacífico se transportaron 259.000 toneladas en el 2010, en pulpa e insumos de papel, azúcar, lámina, traviesas, productos e insumos químicos, repuestos, chatarra, maíz, materias primas, tubería y carga general en contenedores.

En cuanto a los posibles impactos sobre la red férrea del país, se ha encontrado que los daños más relevantes que afectaron la red férrea nacional durante el fenómeno de La Niña 2010-2011 fueron algunas suspensiones de las operaciones de las líneas férreas de Bogotá - Belencito, del Pacífico y de algunos tramos de la red férrea no concesionada, debido principalmente a derrumbes (BID y CEPAL 2013).

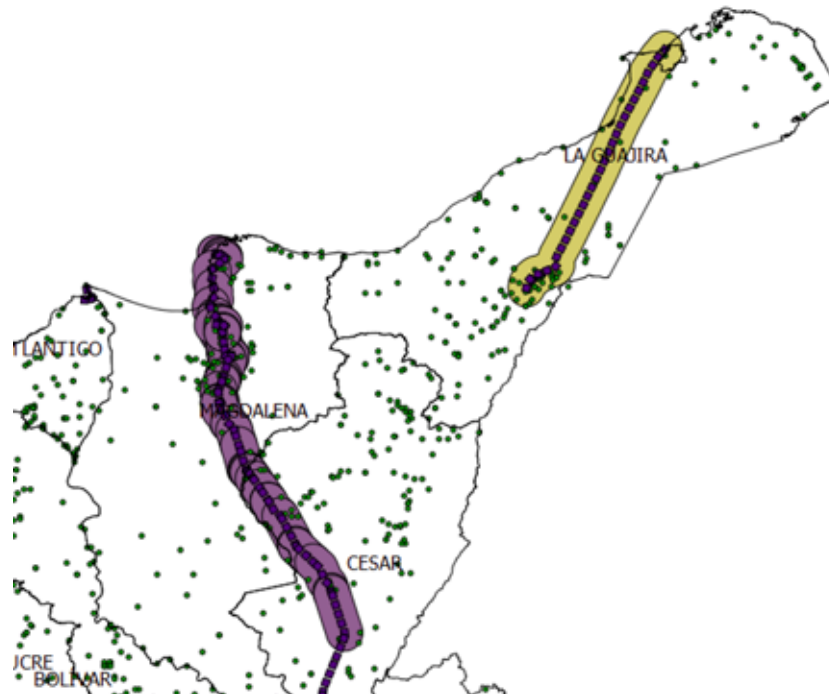
Con respecto a la red férrea del Atlántico, se solicitó información sobre eventos de cierres o daños por efectos de las lluvias a la Superintendencia de Puertos y Transporte (Superpuertos) y la ANI. Se obtuvieron datos de 2010-2012 y se encontró que durante el periodo de lluvias extremas de 2010-2011 no se presentaron cierres de este tipo. A continuación se mostrará la metodología y los resultados obtenidos para la determinación de los impactos sobre el subsector férreo bajo los escenarios de cambio climático analizados.

### Metodología y resultados del modelo

Se construyó un modelo para cuantificar el impacto de las precipitaciones en el transporte férreo, teniendo en cuenta las afectaciones sobre las redes de FENOCO (Chiriguana - Ciénaga) y de Cerrejón (La Guajira). Cabe recordar que se encontró que durante el periodo de lluvias extremas de 2010-2011 no se presentaron cierres de este tipo. La figura 15 muestra la ubicación de las redes FENOCO y Cerrejón.

Para poder dar cuenta de la vulnerabilidad de estas redes ante un clima menos favorable, se planteó una nueva metodología que pretende evaluar qué tanto más fuertes e intensas serán las lluvias en comparación con la Ola Invernal de 2010-2011, evento que fue registrado como una de las épocas de mayor precipitación en la historia del país.

■ **Figura 15.** Redes de Fenoco en Cesar y Magdalena (violeta) y Cerrejón en La Guajira (amarillo)



Fuente: Elaboración propia.

Al hacer la comparación, se podrá conocer si se espera que el clima futuro traiga como resultado precipitaciones más o menos intensas que afectarán, o no, la red férrea concesionada. Las principales fuentes de información consultadas se presentan en la tabla 10 y el anexo IV desarrolla la metodología del modelo cuantitativo de estimación del impacto sobre el modo férreo.

**Tabla 10.** Fuentes de información consultadas para el desarrollo del modelo del impacto sobre el subsector férreo.

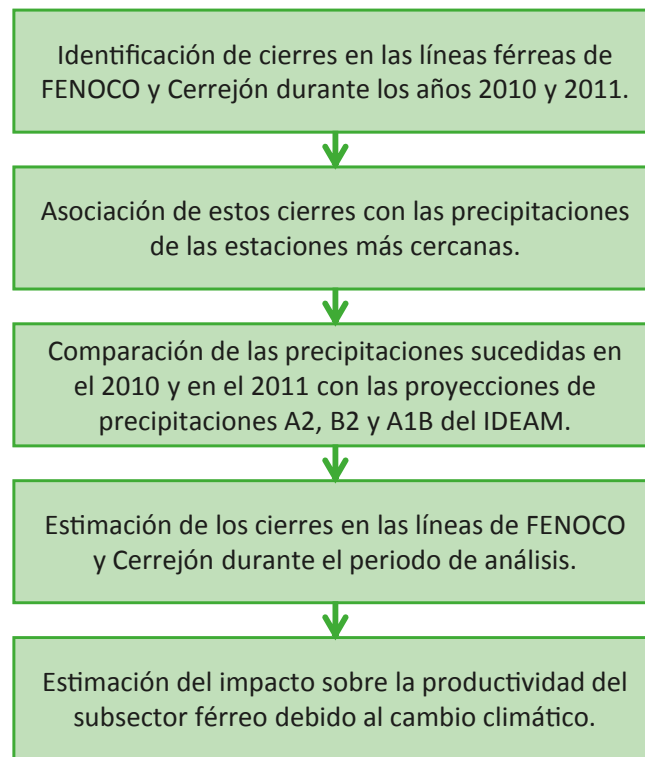
Contenido de la Información	Fuente
Series históricas de precipitaciones en las estaciones meteorológicas de Colombia (2007-2012). Datos proyectados de precipitación mensual desde el año (1971-2100), bajo los escenarios A2, B2, A1B.	IDEAM
Serie histórica de cierres o daños en las líneas férreas de FENOCO y El Cerrejón (2010-2011).	ANI, Ministerio de transporte (2013)

Fuente: Elaboración propia.

La figura 16 resume la metodología utilizada en el modelo del subsector férreo.



■ **Figura 16.** Detalle de la metodología empleada en el cálculo de los impactos en el subsector férreo.



Fuente: Elaboración propia.

## Resultados

Como no se presentaron eventos de cierre o daños en las líneas férreas del norte del país durante la Ola Invernal de 2010-2012 y los resultados del análisis muestran que bajo ningún escenario se esperan precipitaciones mayores a la de este periodo, se puede concluir que el comportamiento de las proyecciones de precipitación bajo los escenarios de cambio climático analizados no representará una amenaza específica para el servicio de transporte de las vías férreas de esta región. Dado lo anterior y para efectos de este estudio, se asumirá que el impacto en la productividad del subsector férreo es de 0%.

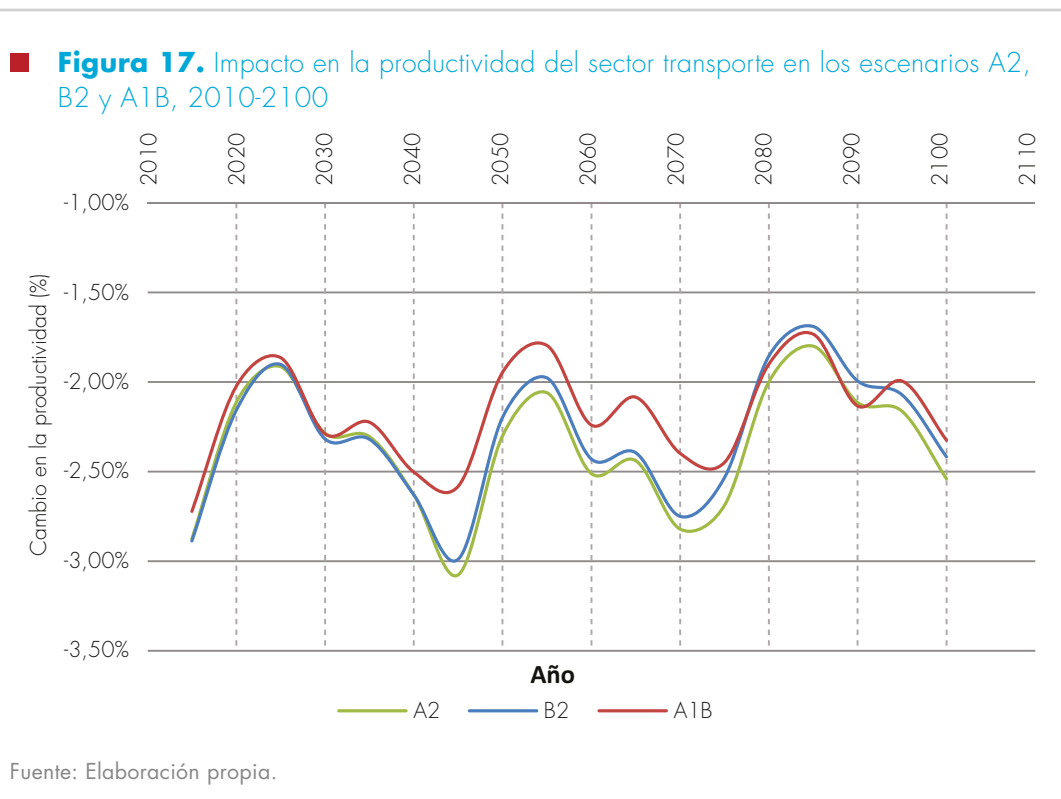
## 6

## Estimación del impacto agregado del cambio climático en la productividad del sector transporte

A partir de los resultados de las modelaciones de los subsectores carretero y férreo, se calculó el impacto sobre la productividad del sector transporte, ponderándolos como se indicó en la ecuación 2. Estos resultados se muestran en la figura 17.

Como se observa en la figura 17, la situación más crítica se presentaría en el quinquenio 2040-2045, donde se evidencia un impacto del 3,1% en la productividad del sector. Esto quiere decir que el sector transporte tendría disponibilidad de operación normal en un 96,9% del tiempo, debido a los efectos de las precipitaciones proyectadas bajo los escenarios de cambio climático.

De otro lado, la situación más favorable se presentaría en el quinquenio 2076-2080 con una reducción de alrededor de 1,8%, que significa una disponibilidad de operación normal de un 98,2%. El comportamiento de los resultados es similar para los distintos escenarios, siendo el escenario A1B el más conservador y el escenario A2 el más pesimista. Se puede observar también que los impactos en el sector transporte se comportan de la misma forma que los impactos sobre el subsector carretero en general pero con un rango menos amplio y de valores más bajos, la diferencia consiste en que los impactos sobre el transporte en general están sujetos a los resultados obtenidos en el subsector carretero y su peso sobre la producción del sector.



Es importante destacar que los resultados cuantitativos obtenidos a través del análisis presentado en este estudio, están basados en una aproximación metodológica inicial para entender la afectación de la capacidad de operación normal del sector bajo condiciones adversas de clima. Por otra parte, es claro que el modelo puede robustecerse agregando otras variables que permitan describir el sector y las relaciones que este tiene con el clima con un mayor nivel de detalle. Sin embargo, es prerequisite desarrollar un trabajo de investigación y análisis de estas relaciones, así como de enriquecimiento de información del sector y del clima.



# 7

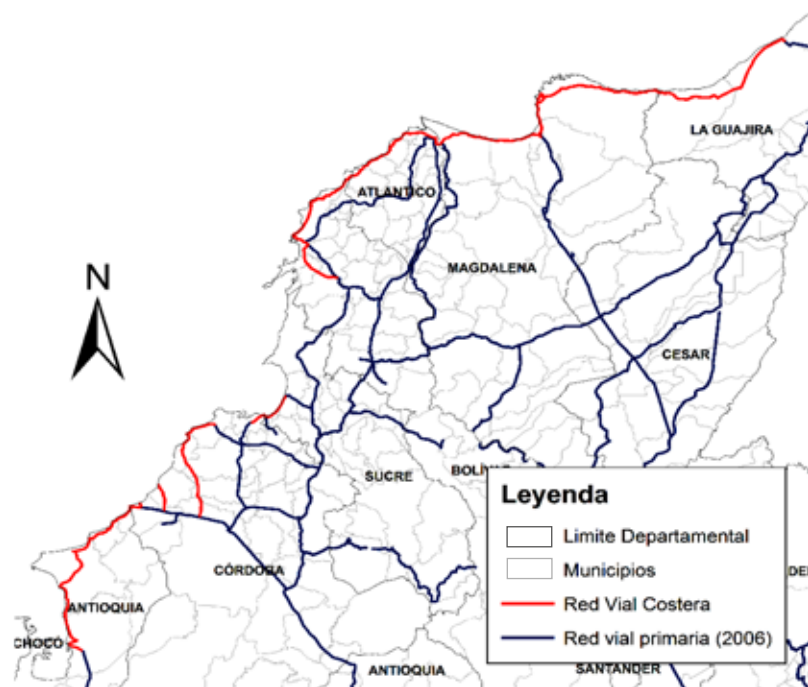
## Subsectores con evaluaciones cualitativas del impacto del clima

A continuación se presentan análisis cualitativos de la presunta vulnerabilidad a las condiciones climáticas extremas de los subsectores carretero, urbano, marítimo y aéreo, que por su falta de información no fueron evaluados cuantitativamente.

### 7.1. Análisis del impacto del aumento del nivel del mar (ANM) en el transporte carretero en Colombia

Como se mencionó, el aumento del nivel del mar es una de las amenazas más importantes del cambio climático para el país. Por tal razón, se identificaron vías con riesgo potencial de inundación. Los tramos más vulnerables son aquellos que se encuentran a nivel del mar como los que conectan los puertos (Buenaventura, Tumaco, Cartagena, Santa Marta, etc.). De igual manera, la troncal del caribe, en especial la extensión de 400 Km entre Cartagena y Riohacha, está expuesta a los embates del mar y el posible ascenso de su nivel. De forma complementaria, el ascenso del nivel del mar debe estudiarse teniendo en cuenta las interacciones del mar con cuerpos de agua continentales como la Ciénaga Grande de Santa Marta o la Ciénaga de la Virgen, pues estas pueden producir mayores afectaciones al sector.

■ **Figura 18.** Red vial primaria cercana al Mar Caribe.



Fuente: Elaboración propia con base en información del IGAC.



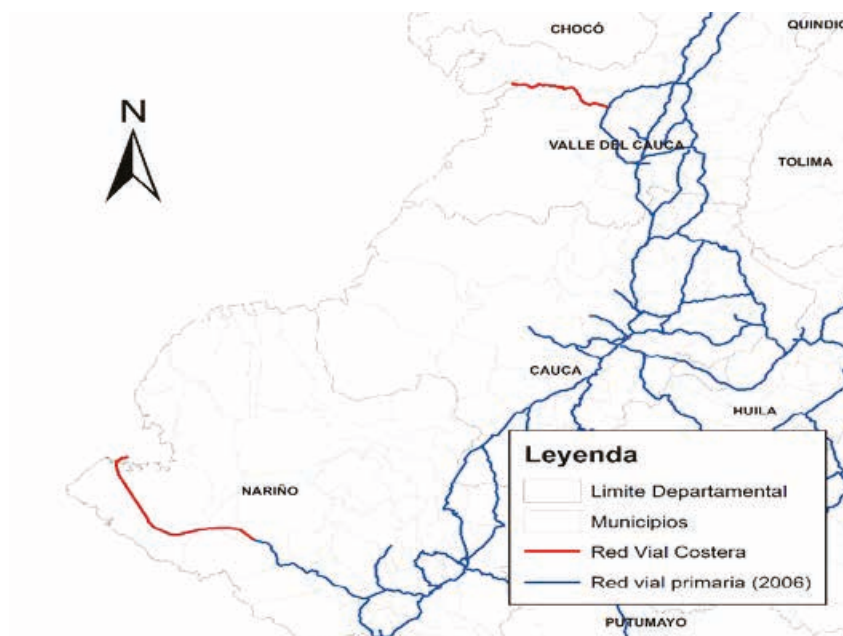
En este estudio, se han señalado los tramos viales susceptibles a los impactos del ANM. Sin embargo, deben realizarse estudios para mejorar la comprensión de sus alcances en la red, que dependerán de la topografía específica de cada región así como de características climáticas e hidrometeorológicas locales. En las figuras 18 y 19 se presentan las vías más cercanas al mar y en las cuales se deben centrar las investigaciones.

## 7.2. Análisis del transporte urbano en Colombia

El transporte urbano en Colombia está compuesto por el transporte público y el transporte particular. En las regiones urbanas conviven sistemas de transporte masivo, buses colectivos, taxis, vehículos particulares y bicicletas, entre otros. En las ciudades de Bogotá, Medellín, Barranquilla, Cartagena, Cali, Pereira y Bucaramanga actualmente operan sistemas BRT (*Bus Rapid Transit*). Estos sistemas son complementarios para la operación convencional de buses y tienen una participación relevante en la movilidad, sobre todo en la ciudad de Bogotá.

Según datos del documento "*Climate Mitigation for Colombia*" del Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Mundial, el transporte público en Colombia cuenta con 130 mil unidades, entre buses y busetas, y con una participación entre el 65% y el 85% de los viajes motorizados, lo que hace que el transporte público sea el medio de transporte más importante en las principales ciudades colombianas. No obstante, la tendencia nacional de uso del transporte público urbano ha venido disminuyendo. Por ejemplo, la cantidad de pasajeros bajó en Ibagué, la capital de Tolima, a una tasa anual del 10% durante el período 1997-2004. En Bogotá, la disminución de la cantidad de pasajeros fue del 4,9%

■ **Figura 19.** Red vial primaria cercana al Océano Pacífico.



Fuente: Elaboración propia con base en información del IGAC.

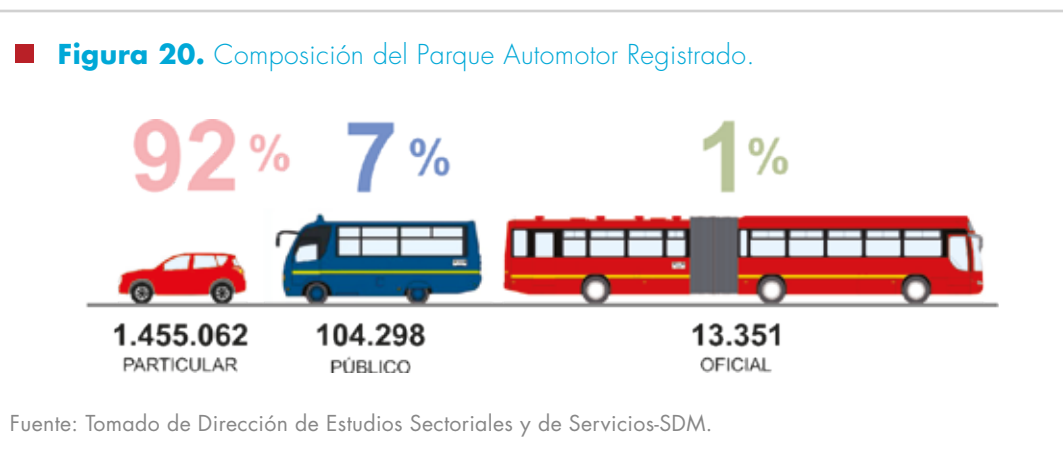


anual en el período 2000-2004. La razón de esta disminución en la cantidad de pasajeros se puede atribuir a numerosos factores, pero una cuestión crítica ha sido el bajo nivel de calidad del transporte público urbano.

En el *"Climate Mitigation for Colombia"* se afirma que el éxito del sistema Transmilenio hizo que la cantidad de pasajeros superara la capacidad del sistema. En el año 2002, la cantidad de pasajeros por hora en ambas direcciones, durante la hora pico, fue de aproximadamente 62.000 pasajeros por hora por sentido (pphps), y actualmente esta cifra es de 211.000 pphps.

Por otro lado, a partir del reporte general del parque automotor que hace el Ministerio de Transporte, se tiene que el parque de vehículos particulares del país, para el año 2009, se componía de 5,8 millones de unidades. Más de tres cuartos del parque automotor está conformado por motocicletas y automóviles, seguido por las camionetas y los camperos (14,4%). Según el *"Climate Mitigation for Colombia"*, entre 2003 y 2009, los automóviles experimentaron una tasa de crecimiento anual promedio del 9,2%. En 2011, se vendieron 327.000 vehículos nuevos, siendo la mayor cantidad de unidades vendidas en un sólo año en la historia del país. Esto significó un incremento del 33% comparado con el año 2010.

Para el caso de la ciudad de Bogotá se trabajó con información del documento *"Movilidad en Cifras 2011"* de la Secretaría de Movilidad de Bogotá. Según este documento, el parque automotor registrado se compone de vehículos de servicio particular, público y oficial para el año 2011, en la proporción que muestra la figura 20:



### Evaluación cualitativa de la afectación a la productividad del subsector urbano

La amenaza del cambio climático más importante para el subsector urbano es el aumento en el patrón de precipitaciones, ya que estas generan inundaciones en las vías y por ende se presenta una disminución en la velocidad promedio de viaje. En el caso de Bogotá, son bien recordados algunos eventos de inundación durante la temporada invernal de 2010-2011, como el taponamiento de la Calle 26 y los constantes cierres en diferentes tramos

de la autopista norte. Entonces, la principal variable para medir el impacto de las lluvias sobre la capacidad de operación del transporte urbano es la velocidad promedio por modo en el área urbana.

Es importante aclarar que la precipitación sobre la ciudad es solamente uno de los muchos factores que pueden afectar la velocidad de desplazamiento. Cambios en la normatividad del pico y placa, obras civiles, manifestaciones, número de vehículos en circulación y accidentalidad, entre otros hacen parte de los otros factores que pueden influenciar esta variable. Un análisis que incluya estos factores es necesario, pero por su complejidad y la falta de información se hace inviable su consideración en el desarrollo de este estudio.

Debido a que Bogotá es la ciudad que concentra el grueso del transporte urbano en el país, por su cantidad de habitantes, un análisis de los impactos en esta ciudad servirá de modelo para las demás ciudades del país. Se analizó el impacto de las precipitaciones a partir de las velocidades promedio de los vehículos y las lluvias en la ciudad de Bogotá. Esta información fue solicitada a la Secretaría de Movilidad de Bogotá y al IDEAM respectivamente.

Por el lado de las velocidades sólo fue posible obtener datos mensuales de los años 2011 y 2012 para la ciudad de Bogotá. Mientras que de las 24 estaciones que se solicitaron, solamente se consiguió información de proyecciones de cuatro estaciones. De estas cuatro, se obtuvo series históricas de tres pero finalmente se pudo contar con solamente una debido a la gran cantidad de registros faltantes de las restantes dos. Esta estación es la llamada *Sta. María de Usme* (21201240).

Después de un análisis general de la información, se reconoció que en Bogotá la velocidad promedio puede disminuir entre un 10 y un 15% debido a un aumento en las precipitaciones de 180 mm en un mes. Este resultado demuestra que si sólo se tuvieran en cuenta las precipitaciones, existe un impacto sobre la velocidad del transporte urbano de Bogotá. Pero como se mencionó anteriormente, se requiere de información más detallada para las distintas ciudades del país, que incluya otros factores incidentes, para hacer una afirmación categórica de este tipo y determinar el impacto sobre la productividad del subsector urbano del país.

### 7.3. Análisis del transporte marítimo en Colombia

Colombia cuenta con 38 zonas portuarias de las cuales en la tabla 11 se presentan las que presentan una mayor participación en el transporte de carga. Se reconoce que las zonas portuarias más importantes de Colombia son: Santa Marta, Guajira, Cartagena, el Golfo de Morrosquillo y Buenaventura. Estas zonas portuarias transportan más del 85% del tráfico portuario total del país, están ubicadas en el mar caribe y cuentan con 25 de los puertos más importantes del país (Ministerio de Transporte, 2011).

La carga transportada por los puertos de Guajira y Santa Marta (53%) corresponde a carbón principalmente. En el Golfo de Morrosquillo (17%) se transportan las exportaciones de granel líquido principalmente, en su mayoría petróleo y sus derivados (BID y CEPAL 2013).



La economía es sensible a la productividad de los sectores que producen estos productos por lo que estos puertos deben ser tenidos en cuenta al plantear medidas de adaptación al cambio climático del subsector marítimo.

**Tabla 11.** Transporte de carga por zona portuaria en el año 2010.

Zona portuaria	Tráfico portuario (toneladas)	Porcentaje de participación
Santa Marta	40.007.330	28%
Guajira	35.568.045	25%
Golfo Morrosquillo	25.109.315	17%
Cartagena	24.452.510	17%
Buenaventura	10.405.166	7%
Barranquilla	6.389.272	4%
Tumaco	1.723.953	1%
San Andrés	126.386	0%
<b>TOTAL</b>	<b>143.781.976</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del (Ministerio de Transporte, 2011).

En el documento Transporte en Cifras del año 2010 publicado por el Ministerio de Transporte, se reconoce que del total del transporte internacional de pasajeros tan sólo un 6% corresponde a transporte marítimo (este comportamiento es muy similar al de los 15 años anteriores) por lo que no se reconoce una afectación importante de las variabilidades del clima en el transporte de pasajeros por vía marítima. A pesar de esto, este 6% puede ser crítico para ciertas poblaciones o regiones que dependen de este medio de transporte.

Con respecto al transporte de carga, el 97% de la carga transportada por subsector marítimo corresponde a carga de comercio exterior. Es por esta razón que los posibles efectos de condiciones extremas en el clima se verán reflejados en el comercio internacional del país.

Por otro lado, el documento indica que el 73% de la carga es transportada en Puertos especializados, el 17% en sociedades portuarias regionales y el 8% en muelles privados. Se reconoce, entonces, que el sector portuario es principalmente manejado por el sector privado (BID y CEPAL 2013). Esto debe ser tenido en cuenta al plantear medidas de adaptación para este subsector de transporte.

### Evaluación cualitativa de la afectación a la productividad del subsector marítimo

En el pasado, condiciones climáticas extremas han afectado el transporte marítimo en Colombia. Según los reportes de los 56 puertos marítimos y fluviales vigilados por la Superintendencia de Puertos y Transporte (SPT), en los eventos del fenómeno de la Niña sucedido entre los años 2010-2011, se encontraron afectaciones menores al subsector marítimo.

En las Sociedades Portuarias de Mamonal y Naviera Central se tuvieron afectaciones en los equipos y sistemas eléctricos por un valor de 663 millones de pesos. En las tres

Sociedades Portuarias de Mamonal, Cartagena y Contecar se tuvieron pérdidas de 2.873 millones de pesos debido a reparaciones y emergencias. En conjunto, estas pérdidas solo correspondieron al 0,43% de los costos de los daños del sector transporte (BID y CEPAL 2013). Teniendo en cuenta que el número de pasajeros en cruceros continuó su tendencia creciente con normalidad.

El único puerto cuya operación se vio afectada en estos eventos fue el de Barranquilla, ubicado en la desembocadura del río Magdalena. En mayo del 2011, "sus operaciones se suspendieron por seis días después de que encallaran dos buques en la entrada del canal, lo que causó que alrededor de diez embarcaciones con más de 200.000 toneladas de mercancía no pudieran salir del puerto. La causa fue determinada por la fuerte corriente del río Magdalena. Asoportuaria calculó que las pérdidas por la falta de ingresos de la actividad portuaria correspondían a cerca de un millón de dólares, correspondientes a cuatro barcos que no pudieron entrar. Además, para superar la emergencia fue necesario traer un remolcador de Estados Unidos, lo que evidencia la falta de equipos para atender este tipo de situaciones" (BID y CEPAL 2013).

Por tal razón, en el canal de acceso en Barranquilla se llevaron a cabo obras de profundización, con las cuales se espera garantizar una profundidad de 40 pies. Estas obras tienen un costo de 11.000 millones de pesos.

La identificación de las principales afectaciones a la productividad del subsector marítimo debido a la variabilidad climática en Colombia, se basó en el documento del análisis de riesgo al cambio climático en el terminal marítimo Muelles El Bosque (MEB), el segundo puerto más extenso de Cartagena<sup>8</sup>, realizado por la *International Finance Corporation* (2011).

La principal afectación resultante de las modelaciones del puerto del caso de estudio es la inundación de la calzada y la perturbación al movimiento de vehículos dentro del puerto, lo que puede retrasar las operaciones de manera significativa. Esto se debe a que los vehículos son parte esencial de las operaciones de los puertos, pues es por medio de vagones articulados, apiladores y coches que se transportan los bienes y las personas dentro de la infraestructura.

Cuando se da una inundación de la calzada (debido a fuertes precipitaciones, a un aumento en el nivel del mar o a otros eventos extremos del clima) menor a 30 cm, los vehículos de tráfico pesado pueden circular; pero si la inundación supera esta altura, ni siquiera los grandes camiones pueden hacerlo. Para reconocer de manera cuantitativa estas afectaciones sobre las operaciones de cada uno de los puertos de Colombia se debe contar con los planos de cada puerto y las estimaciones de costos de la interrupción al movimiento de los vehículos.

Otras posibles afectaciones de las variaciones del clima que se podrían presentar en los puertos pero que en el estudio resultaron con una baja probabilidad de generar costos financieros<sup>9</sup>, son las presentadas a continuación en orden decreciente de importancia:

8 El estudio analizó los costos desde el punto de vista de la ganancia del puerto y no tuvo en cuenta los costos relacionados con la reputación del puerto, debido a la falta de información.

9 No se tuvo en cuenta el daño en la infraestructura debido al aumento de la velocidad de corrosión.



- Cambios en los patrones de comercio y demanda. Esto se debe que algunos productos agrícolas y derivados del petróleo son particularmente sensibles a aumentos en la temperatura o en las precipitaciones, lo cual puede afectar la carga total transportada en los puertos de Colombia. Por ejemplo, una baja producción de productos resistentes al cambio climático como: ajonjolí, banano, coco, plátano, sorgo, entre otros; y una baja importación de algunos granos disminuirían la demanda de transporte.
- Afectación al almacenamiento de bienes. Los aumentos en las precipitaciones pueden sobrepasar la capacidad de drenaje de los puertos, también puede haber un sobrepaso debido a aumentos en los niveles del mar. Estas inundaciones podrían causar daños o pérdidas de los productos almacenados en depósitos, principalmente de aquellos productos que no son resistentes al agua o son perecederos.
- Inundación de las superficies. Los riesgos mencionados pueden ser exacerbados si las lluvias superan la capacidad de drenaje de las zonas cercanas al puerto. Esta afectación depende de la capacidad de drenaje de cada puerto. En las modelaciones realizadas para el puerto del caso de estudio no se presentó ninguna afectación. Para analizar los efectos de una posible inundación, se debe contar con información de los costos de los bienes almacenados y de la ingeniería de cada puerto.
- Los manglares alrededor de los puertos pueden verse afectados por variabilidades climáticas. En caso de que se vean afectados, cada puerto debe pagar una multa por la regeneración de manglares (en el caso de MEB, esta podría ascender a US\$100.000).
- Riesgo para la navegación y el atraque. Estas actividades pueden verse afectadas por ANM y mareas tormentosas, dada la ubicación de los principales puertos en las bahías de Colombia. Esto se podría estudiar teniendo en cuenta modelos hidrodinámicos en 2-D de cada bahía y los planos de los puertos.
- Afectación a la manipulación de los bienes: Los aumentos en las lluvias y en los vientos pueden afectar la operación de las grúas.
- Afectación del transporte de mercancías desde y hacia los puertos. Esta afectación puede verse influenciada por un deterioro del transporte terrestre debido a un ANM (por ejemplo, por inundaciones en la superficie de los municipios más cercanos). Esto depende de la capacidad de drenaje de cada una de las poblaciones en las que se encuentran los puertos.

El estudio también reveló que el cambio climático podría traer algunas oportunidades financieras para los puertos similares al del caso de estudio. Éstas son más difíciles de evaluar que los posibles costos financieros, debido a la falta de información. Las oportunidades financieras son las siguientes:

- El ANM disminuiría el volumen de material a dragar en los puertos, por lo cual se incurriría en un menor costo de mano de obra y maquinaria.
- Disminución de los costos por consumo de agua para la irrigación del coque.

En conclusión, se reconoce que las afectaciones a la productividad del transporte marítimo debido a cambios en el clima dependen de las características propias de cada puerto como su posición geográfica, su altimetría, su sistema de drenaje, entre otras. Por la falta de esta información, en el presente documento, sólo se presentó el estudio cualitativo de estos impactos sobre la productividad de este subsector.

## 7.4. Análisis del transporte aéreo en Colombia

El sector aeroportuario y aeronáutico de Colombia está conformado por 581 aeropuertos aproximadamente (o pistas reconocidas) de los cuales 70 están a cargo de la Aerocivil. De estos, 18 están en concesión, 167 son de las entidades territoriales, y 344 son privados (BID y CEPAL 2013).

Al finalizar 2010, el flujo de pasajeros en transporte aéreo llegó a 13,2 millones en el mercado doméstico (en condiciones normales de operación corresponde al 6% de los pasajeros movilizados en el país) y 6,2 millones en el mercado internacional. Al finalizar 2010 la carga movilizada en los aeropuertos llegó a 583.884 toneladas; 83% de esta corresponde a comercio internacional.

Los aeropuertos más importantes de Colombia son: Bogotá (con una participación del 49% en pasajeros y 68% en carga), Rionegro (con una participación del 9% en pasajeros y 12% en carga) y Cali (con una participación del 8% en pasajeros y 4% en carga).

En la actualidad, el único aeropuerto que tiene evidentes problemas de congestión de carga es El Dorado. Debido a que este terminal cuenta con compromisos importantes de ampliación de capacidad en los terminales de carga y pasajeros. También, este presenta algunas restricciones ambientales en el uso de las pistas, lo que impide atender con holgura los tráficlos actuales.

### Evaluación cualitativa de la afectación a la productividad del subsector aéreo

En cuanto a las afectaciones que este subsector sufrió por la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos durante el fenómeno de la Niña de 2010 – 2011, la Aerocivil reportó que “las afectaciones en infraestructura de transporte aéreo fueron puntuales, con daños que no perjudicaron la operación en gran medida, con excepción de los aeropuertos de Tolú y El Dorado”.

La infraestructura aeroportuaria que sufrió más daños durante este evento fueron las pistas, los terminales, y las zonas de seguridad. En cuanto a la infraestructura aeronáutica, los mayores daños se presentaron en las estaciones, radio ayudas y radares. Es importante destacar que los daños en la infraestructura generan retrasos en las operaciones que afectan de manera importante el transporte de carga y pasajeros en el subsector aéreo. En el aeropuerto el Dorado, las principales aerolíneas del país reportaron retrasos del 40% en noviembre y diciembre del año 2010 y del 70% en abril y mayo del año 2011. Teniendo en cuenta que durante esta temporada no había restricciones ambientales ni restricciones



legales que limitaran su operación. La demora con respecto al promedio de los tres años anteriores fue de 1.436 horas, equivalente a 14.360 millones de pesos. Los aeropuertos cuyas operaciones se vieron más afectadas son: Bucaramanga, Cali, Neiva, Pereira, Popayán y Rionegro (BID y CEPAL 2013).

Los principales fenómenos meteorológicos que afectan el transporte aéreo son: dirección y velocidad desfavorables del viento, niebla, nubosidad, bruma, tormentas eléctricas, lluvias torrenciales, temperaturas extremas y cambios en la presión atmosférica (IDEAM). De esta lista, los fenómenos que pueden estar relacionados con el cambio climático son las precipitaciones y el calor extremo. Según el estudio de (BID y CEPAL 2013), los efectos de la meteorología producen:

- Desviaciones en ruta, que impactan aeronaves en vuelo que en el nivel de crucero encuentran fenómenos meteorológicos adversos y se desvían, y el tiempo de vuelo se prolonga.
- Impacto directo sobre un aeropuerto, cuando el fenómeno atmosférico se presenta sobre la estación (visibilidad reducida, vientos o lluvia) y, dependiendo de su severidad, obliga al cierre temporal de las operaciones en el aeropuerto; cuando sucede en Bogotá, el sistema general se congestiona por ser centro de conexiones y tiene un efecto dominó en el resto del sistema. Se debe tener en cuenta, además, que la congestión del espacio aéreo afecta la seguridad operacional y, por consiguiente, de los pasajeros.
- Impacto colateral de los daños de equipos de radio ayudas, comunicaciones y energía que afectan partes del sistema y generan retrasos o tiempos muertos. Los impactos en los sistemas de aproximación, uno de los fenómenos que más impacta el sistema y genera las principales demoras; la capacidad del aeropuerto se reduce y se produce congestión que se distribuye en el sistema.

Dado que los efectos de un posible ANM en el país sobre las operaciones del subsector aéreo no han sido estudiados en Colombia, a continuación se presenta un análisis general de las posibles implicaciones de un ANM sobre el transporte aéreo.

A partir de la descripción del fenómeno del ANM presentada previamente, se reconoce que en Colombia hay una gran diferencia en las tendencias actuales del crecimiento del nivel del mar en las estaciones cercanas a los principales puertos marítimos de Colombia (desde -2,4 mm por año en Tumaco hasta 5,6 mm por año en Cartagena). Además, no se cuentan con datos de proyecciones de cambios en el nivel del mar en las costas debido al cambio climático, sólo con las proyecciones a nivel mundial. Estas son las razones por las que se asumirá que el ANM tendrá la misma magnitud en todos los puertos de Colombia.

Tomando como base el estudio del riesgo climático del MEB, realizado por (International Finance Corporation, 2011), se plantean tres escenarios de evaluación que serán utilizados para determinar el riesgo de inundación del transporte aéreo debido al ANM.

- Un "escenario observado" que asume que la tasa de elevación actual de Cartagena (3,6 mm al año) continuará hasta el año 2100.



- Un “escenario acelerado” que asume que la tasa de elevación del nivel del mar aumentará desde 3,6 mm al año llegando a 20 mm al año en el 2100. Lo que resulta en que el ANM se comporte de acuerdo a la ecuación:

$$ANM = 3,6 \times 1,019^t \quad (5)$$

Dónde: *ANM* representa el aumento del nivel del mar con respecto al año 2010 en (mm) y *t* el número de años que han pasado desde el año base (2010).

- Un “escenario estimado” que asume el nivel del mar aumentará un metro de forma lineal en el período 2011 - 2100.

A partir de datos suministrados por la Aerocivil, se reconoció que no todos los aeropuertos con una elevación menor a 10 metros sobre el nivel del mar (18 en total) tienen un gran flujo de pasajeros/carga, y que no todos están ubicados en las cercanías de las costas. Por esta razón, se determinó que los puertos que tienen una mayor importancia son los presentados en la tabla 12:

**Tabla 12.** Principales aeropuertos con riesgo de inundación.

Departamento	Ubicación	Aeródromo	Elevación (m)	Pasajeros (Pax/día)	Carga (Ton/día)
BOLÍVAR	CARTAGENA	RAFAEL NUÑEZ	2,13	5866	21
SAN ANDRÉS	SAN ANDRÉS - ISLA	GUSTAVO ROJAS PINILLA	7,32	2975	28
MAGDALENA	SANTA MARTA	SIMÓN BOLÍVAR	6,86	2374	6
ATLÁNTICO	BARRANQUILLA	ERNESTO CORTISSOZ	29,87	4494	76

Fuente: Elaboración propia. Con datos de la Aerocivil.

Según los escenarios planteados anteriormente: observado, acelerado y estimado. Se realizó un modelo preliminar de la elevación del nivel del mar al año 2100.

Estos escenarios tuvieron como resultado las siguientes elevaciones: observado (0,32 msnm), acelerado (0,18 msnm) y estimado (1 msnm). Se puede reconocer que bajo ninguno de los tres escenarios planteados la elevación del nivel del mar supera la altura de los 4 aeropuertos, se puede suponer que los aeropuertos analizados no presentan un riesgo potencial de inundación debido al ANM causado por el cambio climático.

Cabe destacar que las elevaciones de los aeropuertos presentadas corresponden al punto central del aeropuerto. Por lo tanto, no se puede asumir que no hay riesgo de inundación para ninguna de las áreas de estas infraestructuras aeroportuarias. Para realizar un análisis cuantitativo de la afectación al área y a las operaciones de los principales aeropuertos, se requiere información tanto de la topografía del aeropuerto como de las estimaciones de costos de la interrupción al correcto funcionamiento del aeródromo.



## Conclusiones

En este estudio, se estimó que el impacto del cambio climático sobre la productividad de la operación del sector transporte en Colombia será negativo entre un 1,8% y un 3,1%. Este resultado es producto de las estimaciones de los choques a la productividad en los subsectores que contaban con la información necesaria para la modelación: Carretero y férreo.

Para estos subsectores, se evaluó la interrupción del servicio del transporte por la ocurrencia de eventos de deslizamiento debido a aumentos en las precipitaciones. En el subsector carretero, se obtuvo que dependiendo del año y del escenario de precipitaciones las vías estarán operando entre un 92,4% y un 95,8% del tiempo total. En cuanto al subsector férreo, se encontró que el comportamiento de las proyecciones de precipitación no representará una amenaza para el servicio.

Es importante destacar que los resultados cuantitativos obtenidos a través del análisis presentado en este estudio, están basados en una aproximación metodológica para entender la afectación de la capacidad de operación normal del sector bajo condiciones adversas de clima. Por otra parte, el modelo puede robustecerse agregando otras variables que permitan describir el sector y las relaciones que este tiene con el clima con un mayor nivel de detalle. Sin embargo, es prerequisite desarrollar un trabajo de investigación y análisis de estas relaciones, así como de enriquecimiento de información del sector y del clima.

De forma complementaria, la información disponible muchas veces no está actualizada o podrían hacerse esfuerzos para obtener mejor información (más detallada o extensa, etc.). La metodología presentada en este estudio constituye un marco que puede ser usado una vez se disponga de mejor información.

A partir de análisis cualitativos, se reconoció que el sector transporte puede ser vulnerable al aumento del nivel del mar (ANM). Por este motivo, se deben hacer estudios relacionados con la meteorología y la topografía de cada sistema de transporte en particular, para determinar la infraestructura de transporte ubicada en la costa que presenta un riesgo potencial de inundación.

En el sector marítimo se logró identificar que, si bien la principal amenaza corresponde a un aumento del nivel del mar, también lo pueden ser las inundaciones causadas por la posible acentuación de las precipitaciones. En este último sector, se generan pérdidas de productividad relacionadas con la disminución de la carga transportada por los puertos. En cuanto al subsector aéreo, la consulta con expertos permitió reconocer que la operación es altamente vulnerable a los cambios meteorológicos puesto que se afectan las condiciones de vuelo y la infraestructura aeronáutica o aeroportuaria necesaria para operar.

Debido a la disponibilidad limitada de información para desarrollar modelos en todos los subsectores y al uso de un número limitado de modelos de proyección climática, se recomienda profundizar en los temas relacionados con el cambio climático y la adaptación del sector frente a este para complementar este y otros estudios que se desarrollen con respecto a ellos. Por las mismas razones, los resultados de este estudio deben ser considerados como conservadores.

## Bibliografía

- BID y CEPAL. 2013. Valoración de daños y pérdidas. Recuperado el 2013, de Ola invernal en Colombia 2010-2011: <http://www.eclac.cl/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/0/47330/P47330.xml&xsl=/tpl/p9f.xsl>
- BID-CEPAL-DNP. 2014. Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia - Síntesis. S. Calderón, G. Romero, A. Ordóñez, A. Álvarez, C. Ludeña, L. Sánchez, C. de Miguel, K. Martínez y M. Pereira (editores). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 221 y Naciones Unidas, LC/L.3851, Washington D.C.
- Dane. 2011. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Obtenido de Nomenclaturas, Balance de Oferta y Utilización y PIB.: <http://www.dane.gov.co/>
- DOT Center for Climate Change and Environmental Forecasting. 2002. The Potential Impacts of Climate Change on Transportation. Washington D.C.
- Easterling, D. R. 2002. Observed Climate Change and Transportation. The Potential Impacts of Climate Change on Transportation.
- IPCC. 2000. Summary for policymakers, emissions scenarios: a special report of IPCC Working Group III, IPCC. ISBN, 92(9169), 113.
- Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales - IDEAM. 2010a. Análisis de las tendencias del nivel del mar a nivel local y su relación con las tendencias mostradas por los modelos internacionales.
- Obtenido de Subdirección de Meteorología.
- Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales - IDEAM. 2010b. Segunda Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático. Bogotá.
- International Finance Corporation. 2011. Climate risk and business:PORTS. Terminal marítimo Muelles el Bosque. . Cartagena, Colombia.: IFC.
- INVEMAR. 2011. Evaluación de los impactos del cambio climático por efectos del ascenso del nivel del mar en el distrito de Santa Marta. Obtenido de [http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/9493Presentacion\\_ANM\\_Sta\\_Mta\(13sep2011\).pdf](http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/9493Presentacion_ANM_Sta_Mta(13sep2011).pdf)
- Jaroszweski, D., Chapman, L., & Petts, J. 2010. Assessing the potential impact of climate change on transportation: the need for an interdisciplinary approach. Elsevier.
- Kriem, Y. 2010. US Transportation Productivity Study: Productivity of the U.S. freight rail industry 1979-2009.
- Obtenido de Massachusetts Institute of Technology (MIT): [http://transportation.mit.edu/sites/default/files/documents/MIT\\_Rail\\_Freight\\_Report.pdf](http://transportation.mit.edu/sites/default/files/documents/MIT_Rail_Freight_Report.pdf)
- Ministerio de Transporte. 2009. Volúmenes de tránsito. INVIAS.
- Ministerio de Transporte. 2011. Transporte en cifras. Obtenido de Superintendencia de Transporte.
- Moreno, H. A., Vélez, M. V., Montoya, J. D., & Rhenals, R. L. 2006. La lluvia y los Deslizamientos de Tierra en Antioquia: Análisis de su Ocurrencia en las Escalas Interanual, Intraanual y Diaria. EIA: Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- NCCSAP & INVEMAR. 2011. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas biogeofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (caribe, insular y pacífico) y medidas para su adaptación.
- NTC. 2008. Rail Productivity information paper. Obtenido de <http://www.ntc.gov.au/filemedia/Reports/RailProductivityInfoPaperMarch08.pdf>
- Ruiz Murcia, J. F. 2010. Cambio Climático en Temperatura, Precipitación y Humedad Relativa para Colombia usando Modelos Meteorológicos de Alta Resolución - Panorama 2011-2100. Bogotá.
- Timothy J. Coelli, e. a. 2005. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Obtenido de Springer: [http://facweb.knowlton.ohio-state.edu/pvitor/courses/crp4700/coelli\\_Intro\\_effic.pdf](http://facweb.knowlton.ohio-state.edu/pvitor/courses/crp4700/coelli_Intro_effic.pdf)
- Transport Research Board. 2008. Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation. Washington D.C.: National Research Council.
- UNAL. 2012. Ciclos de los Fenómenos Meteorológicos Adversos a la Operación Bajo Reglas de Vuelo por Instrumentos en el Aeropuerto Internacional "El Dorado" (Bogotá). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/6968/1/194118.2012.pdf>



# Anexo I: Casos de afectaciones al sector transporte por causas climáticas

Amenaza	Modo	Área	Caso	Información Necesaria (fuente de la información o, en su defecto, se aclara que está pendiente por encontrar su posible fuente o si en su defecto la información no existe)	Fuente	Variables intermedias	Variables de resultado
Incremento de la temperatura y los olas de calor	Transporte Aéreo	Operaciones	Impactos en el despegue de aviones y límites de carga en aeropuertos, resultando en mayores restricciones de carga y/o consumo de combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de aeropuertos principales de Colombia: Pasajeros/carga anual, rangos de temperatura ambiente, número de vuelos por hora, etc. (Aerocivil)</li> <li>Relación número de pasajeros permitidos para el despegue vs temperatura, por aeropuerto Origen-Destino, por tipo de avión. (Aerocivil, Aerolíneas)</li> <li>Consumo de combustible por pasajero/carga, por Km, por tipo de avión (Aerocivil, Aerolíneas)</li> </ul>	Aerocivil, Aerolíneas		
				<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de carreteras principales y secundarias cerca a las costas: histórico de carga que transportan anualmente, histórico de número de viajes anuales, clasificación de vulnerabilidad por mareas altas, estado (bueno-regular-malo), origen-destino, distancia, altitud, velocidad promedio con y sin cierres, costo tonellada con y sin cierres, costo de operación (Invias, INCO, MTOF)</li> <li>Inventario de vías férreas principales cerca a las costas: carga que transportan anualmente, número de viajes anuales, clasificación de vulnerabilidad por mareas altas, origen-destino, distancia, altitud, velocidad promedio con y sin cierres, costo tonellada con y sin cierres, costo de operación (Invias, INCO, MTOF)</li> <li>Relación histórica: nivel de marea vs cierre parcial y total de las carreteras y carrileras por mareas altas (MTOF, Pendiente)</li> <li>Histórico de costos de viaje por km de carretera, por km de carrilera, histórico de costos variables de operación por km de carretera, por km de carrilera, histórico de costos marginales por mal estado de las vías, por mal estado de las carrileras (MTOF, Invias, INCO)</li> <li>Histórico de porcentajes de afectación por daños de vías y carrileras por mareas altas, por departamento (BID-CEPAL, MTOF)</li> <li>Histórico del valor agregado de los servicios de transporte terrestre (ANDI, DANE)</li> </ul>	MTOF, Invias, INCO, BID-CEPAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de días en los que carreteras y ferrocarriles se encuentran cerrados según el nuevo nivel del mar y las mareas</li> <li>Toneladas por día representadas en cada una de las carreteras y ferrocarriles afectados</li> </ul>	
Aumento del Nivel del Mar y de las Mareas de Tormenta	Transporte Terrestre	Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundación y daños de vías y carrileras ubicadas en zonas costeras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mapa de Colombia con la red vial y férrea cerca a las costas (Invias)</li> <li>Altitud y kilómetros de vías y carrileras cercanas a las costas (Invias, INCO)</li> <li>Inventario de las vías principales y secundarias: km de longitud, estado (bueno-regular-malo), nivel de vulnerabilidad ante fuertes eventos de precipitación (Invias, INCO, MTOF)</li> <li>Inventario de vías férreas principales: km de longitud, nivel de vulnerabilidad ante fuertes eventos de precipitación (Invias, INCO, MTOF)</li> <li>Histórico de departamentos más afectados por mareas altas (BID-CEPAL, MTOF)</li> <li>Relación histórica: nivel de marea vs km afectados de vías y carrileras (MTOF, Pendiente)</li> <li>Histórico de costos por km en reparación/reconstrucción de vías y carrileras por daños por mareas. Precios promedio por actividad (Invias, INCO)</li> </ul>	DNP, MTOF, Invias, INCO, Colombia Humanitaria, Fondo Nacional de Calamidades, BID-CEPAL, ANDI, DANE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carreteras, ferrocarriles y túneles con daños en infraestructura</li> <li>Costos de los daños en infraestructura en carreteras y ferrocarriles y túneles</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento en los cierres periódicos de los puertos por mareas de tormenta más fuertes y aumento en los retrasos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relación: intensidad de mareas vs tipo de embarcación que puede navegar (Pendiente)</li> <li>Histórico de días de cierre de puertos por nivel de marea vs nivel de marea (Pendiente)</li> <li>Inventario puertos principales, histórico de carga que movilizan anualmente (Invias, COR-MAGDALENA)</li> </ul>	Asportuaria, CEPAL-BID INVIAS, CORMAGDALENA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de días en los que las diferentes zonas y puertos se encuentran total o parcialmente cerrados</li> <li>Toneladas por día representadas por falta de navegabilidad</li> </ul>	
Aumento del Nivel del Mar y de las Mareas de Tormenta	Transporte Acuático	Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daños en las instalaciones portuarias por mareas de tormenta más fuertes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mapa de Colombia con los puertos más importantes (Invias, SPT)</li> <li>Inventario de principales instalaciones portuarias, clasificadas por nivel de vulnerabilidad por mareas fuertes (SPT)</li> <li>Clasificación de los puertos según capacidad: calado, nivel de sedimentación, infraestructura de muelles y apoyos de navegación (SPT, Pendiente)</li> <li>Histórico de costos de reposición de infraestructura por daños por mareas altas (SPT)</li> <li>Costos por dragado adicional/m3 de material removido por mareas de tormenta (SPT)</li> </ul>	Invias, CORMAGDALENA, Superintendencia de Puertos y Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de puertos que presentan daños en infraestructura</li> <li>Costos de reparación de daños en infraestructura en puertos</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Cierre de aeropuertos en zonas costeras e interrupciones del servicio por fuertes mareas de tormenta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de aeropuertos principales en zonas costeras con su altitud y su vulnerabilidad frente a mareas altas (Aerocivil)</li> <li>Flujo de pasajeros/carga por año en cada uno de los aeropuertos principales (Aerocivil)</li> <li>Histórico de minutos de retrasos y cierres de aeropuertos vs nivel de marea (Aerocivil, Pendiente)</li> <li>Histórico de hora bloque de operación promedio de la flota por fuertes mareas (Aerocivil, Pendiente)</li> </ul>	Aerocivil	<ul style="list-style-type: none"> <li>Días en que los aeropuertos están cerrados debido a condiciones meteorológicas adversas</li> <li>Pasajeros/carga representados por día por cierre de aeropuertos</li> </ul>	
Aumento del Nivel del Mar y de las Mareas de Tormenta	Transporte Aéreo	Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inundación y daños de infraestructura aeroportuaria y aeronáutica en zonas costeras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mapa de Colombia con los aeropuertos costeros principales (Aerocivil)</li> <li>Altitud de aeropuertos en zonas costeras (Aerocivil)</li> <li>Histórico de aeropuertos afectados por mareas altas (Pendiente)</li> <li>Clasificación de los aeropuertos según vulnerabilidad ante mareas altas (Pendiente)</li> <li>Histórico de costos por daños por mareas altas. Costo promedio según actividad: drenaje, mejoramiento, mantenimiento, repuestos de sistemas (Aerocivil)</li> <li>Relación histórica: mareas altas vs costos en reparaciones en infraestructura aeroportuaria y aeronáutica (Pendiente)</li> </ul>	Aerocivil	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de aeropuertos costeros que presentan daños en infraestructura</li> <li>Costos de reparación de daños en infraestructura en aeropuertos costeros</li> </ul>	

Aumento del Nivel del Mar y de las Mareas de Tormenta

Amenaza	Modo	Área	Caso	Información Necesaria (fuente de la información o en su defecto se indica que está pendiente por encontrar su posible fuente o si su defecto la información no está)	Fuente	Variables intermedias	Variables de resultado
Alteración de los patrones de precipitación, cambios en el flujo y nivel de los ríos, y aumento de los eventos de fuertes lluvias y de sequías	Transporte Terrestre	Operaciones	Incremento en las interrupciones de tráfico y en los retrasos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de carreteras principales y secundarias: histórico de carga que transportan anualmente, histórico de número de viajes anuales, clasificación de vulnerabilidad por fuertes lluvias, estado, origen-destino, distancia, velocidad promedio con y sin cierres, costo tonelada con y sin cierres, costo de operación (Invias, INCO, MTOPI)</li> <li>Inventario de vías férreas principales: carga que transportan anualmente, número de viajes anuales, clasificación de vulnerabilidad por fuertes lluvias, origen-destino, distancia, velocidad promedio con y sin cierres, costo tonelada con y sin cierres, costo de operación (Invias, INCO, MTOPI)</li> <li>Relación histórica: cm lluvia vs cierre parcial y total de las carreteras y carrileras por fuertes lluvias (Pendiente)</li> <li>Histórico de costos de viaje por km de carretera, por km de carrilera, histórico de costos variables de operación por km de carretera, por km de carrilera, histórico de costos marginales por mal estado de las vías, por mal estado de las carrileras (MTOPI, Invias, INCO)</li> <li>Histórico de porcentajes de afectación por daños por lluvias de vías y carrileras, por departamento (BID-CEPAL, MTOPI)</li> <li>Histórico del valor agregado de los servicios de transporte terrestre (ANDI, DANE)</li> </ul>	MTOPI, Invias, INCO, BID-CEPAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de días en los que carreteras y ferrocarriles se encuentran total o parcialmente cerrados</li> <li>Toneladas por día representadas en cada una de las carreteras y ferrocarriles afectados</li> </ul>	
				<ul style="list-style-type: none"> <li>Mapa de Colombia con la red vial y férrea (Invias)</li> <li>Inventario de las vías principales y secundarias: km de longitud, estado (bueno-regular-malo), nivel de vulnerabilidad ante fuertes eventos de precipitación (Invias, INCO, MTOPI)</li> <li>Inventario de vías férreas principales: km de longitud, nivel de vulnerabilidad ante fuertes eventos de precipitación (Invias, INCO, MTOPI)</li> <li>Histórico de departamentos más afectados por fuertes lluvias (BID-COPAL, MTOPI)</li> <li>Relación histórica: cm lluvia vs km afectados de vías y carrileras (MTOPI, IDEAM, Pendiente)</li> <li>Histórico de costos por km en reparaciones de vías y carrileras por daños por lluvias.</li> <li>Precios promedio por actividad: renovaciones, muros, estructuras de contención, etc. (Invias, INCO, Fondo Nacional de Calamidades)</li> </ul>	DNP, MTOPI, Invias, INCO, Colombia Humanitaria, Fondo Nacional de Calamidades, BID-CEPAL, ANDI, DANE	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carreteras, ferrocarriles y túneles con daños en infraestructura</li> <li>Costos de los daños en infraestructura en carreteras y ferrocarriles y túneles</li> </ul>	
Alteración de los patrones de precipitación, cambios en el flujo y nivel de los ríos, y aumento de los eventos de fuertes lluvias y de sequías	Transporte Acuático	Operaciones	Incremento en los cierres periódicos de ríos, canales y puentes, y aumento en los retrasos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de los ríos y canales principales, niveles mínimos y máximos para que sean navegables, histórico de carga que transportan anualmente, histórico de número de viajes anuales (Invias, CORMAGDALENA)</li> <li>Inventario de puertos marítimos, histórico de carga que movilizan (Aseportuaria, SPT)</li> <li>Niveles máximos y mínimos de profundidad permitidos por río y canal para que sean navegables, caudales máximos y mínimos (IDEAM, Pendiente)</li> <li>Histórico de días de cierre de ríos, canales y puentes por fuertes lluvias vs cm de precipitación (IDEAM, Pendiente)</li> <li>Relación cm de precipitación vs nivel de los ríos y canales principales (IDEAM, Invias, CORMAGDALENA, Pendiente)</li> </ul>	Invias, CORMAGDALENA, Superintendencia de Puertos y Transporte Aseportuaria, CEPAL-BID, IDEAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ríos no navegables (en número de días)</li> <li>Pasajeros/carga representada por día en los ríos afectados</li> </ul>	
				<ul style="list-style-type: none"> <li>Mapa de Colombia con los ríos navegables más importantes para el transporte de carga y de pasajeros con sus muelles y puertos (Invias, SPT)</li> <li>Clasificación de los ríos según capacidad: calado, nivel de sedimentación, infraestructura de muelles y apoyos de navegación (Invias, CORMAGDALENA)</li> <li>Inventario de puertos principales, incluyendo nivel de vulnerabilidad frente a fuertes lluvias (SPT)</li> <li>Histórico de costos de reposición de infraestructura por daños por lluvias (Invias, CORMAGDALENA, SPT)</li> <li>Costos por dragado adicional/m<sup>3</sup> de material removido por lluvias (Invias, CORMAGDALENA, SPT)</li> <li>Relación histórica: cm precipitación vs incremento de caudal y sedimento transportado (IDEAM, Pendiente)</li> </ul>	Invias, CORMAGDALENA, Superintendencia de Puertos y Transporte, IDEAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de puentes que presentan daños en infraestructura</li> <li>Costos de reparación de daños en infraestructura en puentes</li> </ul>	
Alteración de los patrones de precipitación, cambios en el flujo y nivel de los ríos, y aumento de los eventos de fuertes lluvias y de sequías	Transporte Aéreo	Operaciones	Incremento en los retrasos de los vuelos y cierres de los aeropuertos por desviaciones en ruta, clima convectivo, mal tiempo, inundaciones y daños en la infraestructura aeronáutica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de aeropuertos principales y su vulnerabilidad frente a las lluvias (Aerocivil)</li> <li>Flujo de pasajeros/carga por año en cada uno de los aeropuertos principales (Aerocivil)</li> <li>Histórico de minutos de retrasos y cierres de aeropuertos vs cm de precipitación (Aerocivil, IDEAM)</li> <li>Histórico de hora bloque de operación promedio de la flota por lluvias (Aerocivil)</li> </ul>	Aerocivil, IDEAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Días en que los aeropuertos están cerrados debido a condiciones meteorológicas adversas</li> <li>Pasajeros/carga representados por día en aeropuertos</li> </ul>	
				<ul style="list-style-type: none"> <li>Mapa de Colombia con los aeropuertos principales (Aerocivil)</li> <li>Histórico de aeropuertos más afectados por fuertes lluvias (Aerocivil, Pendiente)</li> <li>Clasificación de los aeropuertos según vulnerabilidad ante fuertes lluvias (Pendiente)</li> <li>Histórico de costos por daños por fuertes lluvias. Costo promedio según actividad: drenaje, mejoramiento, mantenimiento, repuestos de sistemas (Aerocivil, Pendiente)</li> <li>Relación histórica: cm lluvia vs costos en reparaciones en infraestructura aeronautaria y aeronáutica (IDEAM, Pendiente)</li> </ul>	Aerocivil, IDEAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario de aeropuertos que presentan daños en infraestructura</li> <li>Costos de reparación de daños en infraestructura aeropuertos</li> </ul>	



## Anexo II: Cuentas nacionales relacionadas con el sector transporte.

<b>Producto:</b> Transporte regular, incluido el especial, de pasajeros (urbano y suburbano)	<b>Cuenta nacional:</b> 460101	<b>CIU:</b> 6021
<b>Descripción:</b> Incluye los servicios regulares de transporte que se prestan en un área metropolitana (Ley 128 de 1994) definida como la unión o asociación de una gran ciudad -metrópoli- con los municipios circunvecinos, vinculados entre sí por estrechas relaciones de orden físico, económico y social, que para la programación y coordinación de su desarrollo y para la racional prestación de sus servicios públicos requiere una administración coordinada. También corresponde a los servicios regulares de transporte urbano y suburbano (metropolitano) de pasajeros que normalmente siguen un horario fijo, que incluyen la carga y descarga de pasajeros en paradas fijas. Estos servicios pueden ser prestados por autobuses, busetas, microbuses, tren metropolitano, tranvías, trolebuses, trenes subterráneos, trenes de viaducto, etc. Los servicios de buses escolares, de enlace rápido con aeropuertos y estaciones de ferrocarril, terminales de buses intermunicipales, etc. Las actividades de transporte en teleférico y funicular.		
<b>Producto:</b> Transporte regular, incluido el especial, de pasajeros (interurbano y otros)	<b>Cuenta nacional:</b> 460102	<b>CIU:</b> 6022, 6023
<b>Descripción:</b> Incluye los servicios regulares de transporte intermunicipal de pasajeros, en rutas fijas y horarios preestablecidos con origen y destino en diferentes municipios (incluye el transporte interdepartamental e intradepartamental). Los servicios incluidos en esta clase, pueden ser prestados utilizando cualquier tipo de vehículos que reúnan las características estipuladas por la Ley para el transporte intermunicipal de pasajeros tales como chivas, buses, escaleras, etc.		
<b>Producto:</b> Servicio de taxis	<b>Cuenta nacional:</b> 460103	<b>CIU:</b> 6031
<b>Descripción:</b> Incluye los servicios de taxis. Los servicios de alquiler de automóviles privados con conductor.		
<b>Producto:</b> Transporte no regular colectivo de pasajeros	<b>Cuenta nacional:</b> 460104	<b>CIU:</b> 6031, 6032, 6039
<b>Descripción:</b> Incluye los servicios de fletamento de autobuses, servicios de excursión en autobuses y demás servicios ocasionales de transporte en autobuses		
<b>Producto:</b> Transporte de carga por vía terrestre	<b>Cuenta nacional:</b> 460201	<b>CIU:</b> 6041, 6042, 6043
<b>Descripción:</b> Incluye el transporte urbano y suburbano (metropolitano) de carga. Los servicios de mudanzas para oficinas y particulares a nivel urbano y suburbano. El transporte regular y no regular de carga por carretera, cuyo origen y destino se encuentra en municipios diferentes. El transporte interdepartamental e intradepartamental de carga por carretera. Los servicios de mudanzas para oficinas y particulares a nivel intermunicipal.		
<b>Producto:</b> Transporte por tuberías	<b>Cuenta nacional:</b> 460300	<b>CIU:</b> 6050
<b>Descripción:</b> Incluye el transporte por tuberías de gases, petróleo, líquidos, lechadas y algunos derivados del petróleo. El funcionamiento de las estaciones de bombeo y la conservación de las tuberías.		
<b>Producto:</b> Transporte por ferrocarril (carga y pasajeros)	<b>Cuenta nacional:</b> 460202	<b>CIU:</b> 6010
<b>Descripción:</b> Incluye el transporte de pasajeros por ferrocarril intermunicipal, así como el transporte de carga por ferrocarril intermunicipal, suburbano y urbano. Las actividades conexas como las de cambio de vías y de agujas. Los servicios de coche cama y coche restaurante, cuando están integrados a los servicios de las empresas ferroviarias.		
<b>Producto:</b> Transporte marítimo (internacional y de cabotaje) de pasajeros y de carga; alquiler de embarcaciones con tripulación y servicios de remolque	<b>Cuenta nacional:</b> 470100	<b>CIU:</b> 6111, 6112
<b>Descripción:</b> Incluye el transporte marítimo de carga y pasajeros que se lleva a cabo entre puertos colombianos y puertos de diferentes países: - Servicios de embarcaciones de excursión, crucero o turismo. - Servicios de transbordadores, taxis acuáticos, etc. - Transporte de barcazas, plataformas petrolíferas, etc., remolcadas o empujadas por remolcadores. El alquiler de buques y embarcaciones con tripulación. El alquiler de embarcaciones de recreo con tripulación.		

<b>Producto:</b> Transporte no marítimo (fluvial) de pasajeros y de carga; alquiler de embarcaciones con tripulación y servicios de remolque.	<b>Cuenta nacional:</b> 470200	<b>CIU:</b> 6120
<b>Descripción:</b> Incluye el transporte de pasajeros y carga que se preste en la jurisdicción de las diferentes cuencas hidrográficas del territorio colombiano, que comprenden todos los ríos, canales, lagos, lagunas, ciénagas, embalses y otras vías de navegación interiores como radas y puertos. El alquiler de embarcaciones de recreo con tripulación para el transporte por vías de navegación interiores.		
<b>Producto:</b> Servicio de transporte aéreo de pasajeros regular y no regular y alquiler de aeronaves con tripulación	<b>Cuenta nacional:</b> 480100	<b>CIU:</b> 6211, 6213, 6220
<b>Descripción:</b> Incluye el transporte de pasajeros por vía aérea, en horarios e itinerarios establecidos y con origen y destino en Colombia. El transporte de pasajeros por vía aérea, con origen y destino en dos países diferentes (uno de ellos Colombia) y en horarios e itinerarios establecidos. El transporte no regular de pasajeros y carga por vía aérea, que no tiene ni itinerarios ni horarios establecidos. Los vuelos panorámicos y turísticos. El lanzamiento de satélites y naves espaciales. El transporte espacial de objetos y pasajeros. Los vuelos contratados (chárter) regulares. El alquiler de equipo de transporte aéreo con operador.		
<b>Producto:</b> Servicio de transporte aéreo de carga	<b>Cuenta nacional:</b> 480200	<b>CIU:</b> 6212, 6214, 6220
<b>Descripción:</b> Incluye el transporte de carga a nivel nacional, en horarios e itinerarios establecidos y con origen y destino en Colombia. El transporte de carga por vía aérea, con origen y destino en dos países diferentes (uno de ellos Colombia) y en horarios e itinerarios establecidos		
<b>Producto:</b> Servicios almacenamiento y de carga y descarga	<b>Cuenta nacional:</b> 490101	<b>CIU:</b> 6310, 6320
<b>Descripción:</b> Incluye la carga y descarga de mercancías y equipaje, independientemente del modo de transporte utilizado. Las actividades de estiba y desestiba. El funcionamiento de instalaciones de almacenamiento de todo tipo de productos tales como funcionamiento de silos de granos, almacenes para mercancías varias, cámaras frigoríficas, tanques de almacenamiento, etc., incluidos los servicios prestados por los almacenes generales de depósito. Se incluye el almacenamiento de muebles, automóviles, madera, gas y petróleo, sustancias químicas, productos textiles, productos alimenticios y agropecuarios, etc. El almacenamiento de productos en zonas francas.		
<b>Producto:</b> Actividades de estaciones, vías y servicios complementarios para el transporte terrestre	<b>Cuenta nacional:</b> 490103	<b>CIU:</b> 6331
<b>Descripción:</b> Incluye el funcionamiento de instalaciones terminales como estaciones ferroviarias, de autobuses, de manipulación de mercancías. El funcionamiento de infraestructuras ferroviarias. La explotación de carreteras o servicio de peaje en carreteras, puentes, túneles; plazas de estacionamiento para automóviles o garajes (parqueaderos), estacionamientos para bicicletas.		
<b>Producto:</b> Servicios complementarios para transporte por vías de navegación marítima	<b>Cuenta nacional:</b> 490104	<b>CIU:</b> 6332
<b>Descripción:</b> Incluye el funcionamiento de estaciones terminales como puertos y muelles; la manipulación de mercancías transportadas por este medio. El funcionamiento de esclusas, atracaderos, etc. Las actividades de navegación, practica y atracada. Las actividades de gabarrajé y salvamento. El funcionamiento de faros. La explotación de playas de estacionamiento		
<b>Producto:</b> Servicios complementarios para transporte por vía aérea.	<b>Cuenta nacional:</b> 490105	<b>CIU:</b> 6333
<b>Descripción:</b> Incluye el funcionamiento de instalaciones terminales como terminales de aeropuerto, etc.; la manipulación de mercancías transportadas por este medio. Las actividades aeroportuarias y de control de tráfico aéreo. Las actividades de servicio en tierra realizadas en campos de aviación, etc.		

Fuente: (DANE, 2011).



### Anexo III: Proporción de la Red Vial según la zona de Amenaza por Remoción en Masa por departamento.

Departamento	Alta	Baja	Media
ANTIOQUIA	31%	24%	45%
ARAUCA	64%	36%	0%
ATLÁNTICO	0%	100%	0%
BOGOTÁ	11%	89%	0%
BOLÍVAR	0%	100%	0%
BOYACÁ	57%	38%	5%
CALDAS	78%	20%	2%
CAQUETÁ	0%	64%	36%
CASANARE	58%	42%	0%
CAUCA	71%	20%	9%
CÓRDOBA	0%	100%	0%
CESAR	7%	82%	11%
CHOCÓ	43%	57%	0%
CUNDINAMARCA	46%	52%	3%
GUAVIARE	0%	91%	9%
HUILA	46%	40%	14%
LA GUAJIRA	8%	89%	3%
MAGDALENA	0%	89%	11%
META	8%	90%	2%
NARIÑO	88%	12%	0%
NORTE DE SANTANDER	25%	34%	40%
PUTUMAYO	30%	65%	5%
QUINDÍO	99%	0%	1%
RISARALDA	85%	15%	0%
SANTANDER	48%	21%	31%
SUCRE	0%	100%	0%
TOLIMA	34%	47%	18%
VALLE DEL CAUCA	35%	64%	1%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del IGAC, Ingeominas y MinTransporte (2003 y 2006).



## Anexo IV: Desarrollo de la metodología del modelo cuantitativo de estimación del impacto sobre el modo férreo

Con el objetivo de comparar las lluvias de 2010-2012 con las proyecciones de los escenarios A2, B2 y A1B, primero se tomaron en cuenta las estaciones del IDEAM que cumplen los siguientes criterios:

- Distancia máxima de 10km de las líneas de ferrocarril en cuestión
- Presencia dentro de los registros de lluvia histórica recibidos del IDEAM
- Presencia dentro de las proyecciones de lluvia recibidas del IDEAM

En la tabla 13 se muestra la información de las 5 estaciones que cumplieron los criterios establecidos.

**Tabla 13.** Estaciones de IDEAM utilizadas para análisis del sector férreo.

Código Estación	Nombre	Departamento
15015050	Aeropuerto Simón Bolívar	Magdalena
25025250	Chiriguaná	Cesar
29060040	Fundación	Magdalena
29060100	Santa Rosa de Lima	Magdalena
15060020	Cuestecita	La Guajira

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se encontró la lluvia máxima mensual registrada en 2010-2012 en cada una de las estaciones mencionadas para conocer si dentro de los escenarios de proyecciones de 2015-2100 pueden llegar a existir lluvias mayores a las presentadas en el periodo de la Ola Invernal. La tabla 14 muestra lo anterior y especifica la fecha y el escenario en el cual se encontró la proyección de lluvia más alta en cada estación.

**Tabla 14.** Comparación de lluvias mensuales históricas vs. proyecciones.

Estación	Máx. 2010-2012 (mm)	Máx. proyectada 2015-2100 (mm)	Fecha y escenario	¿Es mayor la lluvia en la proyección que en el histórico?
Apto. Simón Bolívar	398	260	Oct. 2013 - A1B	No
Chiriguaná	550	485	Oct. 2095 - A1B	No
Fundación	758	503	Nov. 2075 - A1B	No
Sta. Rosa de Lima	499	377	Jul. 2065 - B2	No
Cuestecita	672	436	Ene. 2070 - B2	No

Fuente: Elaboración propia.





# IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

## SECTOR TRANSPORTE

### Publicaciones relacionadas:

- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Síntesis
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Ganadero
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Pesquero
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Forestal
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Recurso Hídrico
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Especies Nativas y Biocomercio
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Costos Económicos de los Eventos Extremos
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Análisis Costo-Beneficio de Medidas de Adaptación



**DNP** Departamento  
Nacional  
de Planeación

