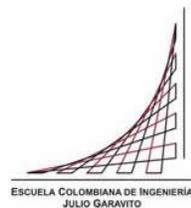


# **Maestría en Ingeniería Civil**

## **Impacto de los proyectos viales de cuarta generación de concesiones en la accesibilidad y en los costos de transporte de mercancías en Colombia**

**José Ignacio Nieto García**

**Bogotá, D.C., 19 de enero de 2018**



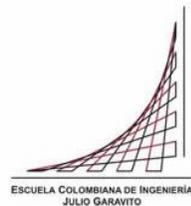
**Impacto de los proyectos viales de cuarta generación de concesiones en la accesibilidad y en los costos de transporte de mercancías en Colombia**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Tránsito y Transporte**

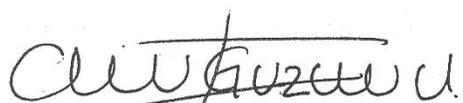
**Andrés Felipe Guzmán Valderrama**

**Director**

**Bogotá, D.C., 19 de enero de 2018**



La tesis de maestría titulada *“Impacto de los proyectos viales de cuarta generación de concesiones en la accesibilidad y en los costos de transporte de mercancías en Colombia”*, presentada por José Ignacio Nieto García, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte.



Director de la tesis

Andrés Felipe Guzmán Valderrama

Jurado

Alejandro García Cadena

Jurado

María Constanza Torres Tamayo

Bogotá, D.C., enero de 2018

## **Dedicatoria,**

A Dios, verdadera fuente de luz y soberano principio de la sabiduría. A mis Padres y hermanas, quienes con su amor, apoyo, esfuerzo y ejemplo lograron junto a mí este nuevo logro personal y profesional. A Paula Estrada, quien con su alegría, motivación y fortaleza transformó las cargas en este exigente proceso.

## **Agradecimientos,**

A La **Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**, sus Directivas de la Maestría en Ingeniería Civil y del Centro de Estudios de Vías y Transporte, por su apoyo en mi formación en la Escuela, el cual representa un medio importante para lograr avanzar en mi carrera profesional.

Al Doctor **Andrés Felipe Guzmán Valderrama**, Director de mi trabajo de investigación por su Ejemplo, exigencia y apoyo incondicional en mi proceso de formación personal y profesional. Gracias por sus enseñanzas, y por transmitirme su conocimiento y experiencia más allá de las aulas.

## Resumen

El modelo de Asociación Público Privada en Colombia (APP), ha sido el vehículo principal para promover el desarrollo de infraestructura de transporte y fomentar el desarrollo económico durante los últimos 20 años.

La participación privada en el sector carretero inició en el año 1994 con la primera generación de concesiones viales. Desde entonces, el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Transporte, ha puesto en marcha tres generaciones más, llegando así a la cuarta generación de concesiones conocidas como 4G, presentada en el año 2011 por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Los proyectos 4G tienen una inversión total de COP\$53 billones y una longitud total de 7.601 Km. Así, resulta importante cuantificar cómo el mejoramiento de la red actual y nuevas construcciones afectarán los costos del transporte de mercancías. Los costos de transporte se constituyen en uno de los grandes valores añadidos al precio de los productos en general.

La información de la red actual y los proyectos de 4G se ha incluido en un modelo de red de transporte utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Adicionalmente, se ha construido una función de Costo Generalizado de Transporte (CGT) en cada uno de los enlaces que conforman la red de carreteras, incluyendo atributos como: longitud, velocidad, y tipo de terreno, que afectarán los análisis de costos de transporte.

Este análisis de cambios en los costos de transporte se ha realizado a través del SIG al considerar la minimización de la función de costo generalizado (CGT) entre los distintos puntos considerados. El modelo de red de transporte representará mediante unidades monetarias los cambios en los costos de transporte basado en costos económicos y características físicas de la red que se espera desarrollar en el país.

Por último, los resultados de la descripción del impacto de costos de transporte entre el escenario base y el programa de 4G, se basa en la comparación de resultados entre ambas situaciones. La introducción gradual de las fases de los proyectos, ha evidenciado la disminución de los costos de transporte entre los pares origen-destino que guardan relación directa con los mencionados proyectos. Además, se ha evidenciado disminuciones importantes de forma indirecta en zonas que no hacen parte del corredor de los proyectos. Finalmente, se concluye que algunas regiones y sus puntos de producción y consumo no llegarán a presentar modificaciones en sus costos de transporte debido a que los proyectos de este programa no abarcan integralmente al país.

## **Abstract**

The Infrastructure evolution in Colombia has been a constant improvement process during the last 20 years. Until today, the National Government in cooperation with technical and administrative bodies have developed four Public Private Partnership infrastructure groups of projects known as “generations of concessions”.

In the infrastructure evolution has been significant the change from public to private investment. Before 90's the roadway construction were attained with public resources. Since then, through an economic aperture policy, private investment has been the main vehicle to upgrade and maintain road corridors in Colombia. In this manner, the relationship between Government and private investor has represent an important advance in knowledge curve in technical and contractual aspects. Accordingly this knowledge, Colombia is leading nowadays the most ambitious and important group of infrastructure projects known as the fourth generation (4G) launched by The Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Despite the importance of 4G projects with a total investment of COP\$53 billion and a total length of 7.601Km, until today there is not specific information as a result of studies or investigation that describes the benefits of this new infrastructure investment in economic terms, accessibility and goods transportation costs.

In order to generate and analyze specific information about 4G investment benefits in terms of accessibility and goods transportation costs, it is important to develop a complete review of technical conditions of the actual and future national road network taking into account 4G projects. Then, based on previous review and official reports of governmental transportation institutions it could be calculated the accessibility and transportation costs of the main corridors of the road network in Colombia.

Additionally, it is going to be evolve a comparative analysis between accessibility and transportation costs changes between the actual and future road network. In addition, this comparative analysis will allow to analyze the impact of 4G projects in the society through variables such as: generalized transportation costs (GTC), spillover effects, territorial cohesion, among others.

Finally and based in other related studies, we could anticipate that the construction and operation of 4G projects will represent a reduction in transportation costs between consume and production centers with a direct relationship with 4G corridors. Never the less, we expect some regions with a minimum or none benefit because their location is separate from the new infrastructure projects that do not cover the major of the national territory.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos específicos .....	3
<b>1.2. Contenido .....</b>	<b>4</b>
<b>2. EVOLUCION DE LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE EN COLOMBIA CON PARTICIPACION PRIVADA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Concesiones Viales en Colombia .....</b>	<b>7</b>
2.2.1. Primera generación de concesiones.....	8
2.2.2. Segunda generación de concesiones.....	10
2.2.3. Tercera generación de concesiones.....	12
2.2.4. Cuarta generación de concesiones.....	14
2.2.4.1. Fase 1 .....	16
2.2.4.2. Fase 2 .....	18
2.2.4.3. Fase 3 .....	20
2.2.4.4. Fase 4 .....	22
<b>2.3. Plan Maestro de Transporte Intermodal .....</b>	<b>24</b>
2.3.1. Introducción .....	24
2.3.2. Infraestructura de carreteras y transporte por modo terrestre de tipo carretero en la red vial primaria	26
2.3.3. Infraestructura de transporte por modo terrestre de tipo férreo.....	27

2.3.4.	Transporte por modo fluvial y marítimo .....	27
2.3.5.	Transporte por modo aéreo .....	27
2.3.6.	Relación en cifras entre el PMTI y los proyectos viales de cuarta generación .....	27
<b>2.4.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>30</b>
<b>3.</b>	<b>INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE: EFECTOS E IMPACTOS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.</b>	<b>Accesibilidad .....</b>	<b>33</b>
3.2.1.	Función de impedancia.....	36
3.2.2.	Efectos de desbordamiento.....	37
3.2.2.1.	Tipos de efectos de desbordamiento.....	38
3.2.2.2.	Medición de efectos de desbordamiento: casos de estudio.....	39
3.2.3.	Cohesión territorial.....	43
3.2.3.1.	Medición de accesibilidad y cohesión territorial: casos de estudio.....	45
<b>3.3.</b>	<b>Costos de Transporte de mercancías .....</b>	<b>49</b>
3.3.1.	Elementos de la función de Costo de Transporte.....	50
3.3.2.	Costos entre centros de producción y consumo .....	51
3.3.3.	Costos de los usuarios que transitan por carreteras: Casos de estudio. ....	53
<b>3.4.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>58</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAMBIOS DE ACCESIBILIDAD, COSTOS, COHESIÓN TERRITORIAL Y EFECTOS DE DESBORDAMIENTO EN LOS PROGRAMAS DE CONCESIONES VIALES EN COLOMBIA.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.</b>	<b>Recopilación de información técnica .....</b>	<b>61</b>

4.2.	Georreferenciación y conformación de la base de datos .....	61
4.3.	Registro de atributos e información técnica .....	61
4.4.	Evaluación de Accesibilidad.....	62
4.5.	Evaluación de Costos de transporte .....	62
4.6.	Evaluación de Cohesión Territorial .....	64
4.7.	Evaluación de Efectos de desbordamiento .....	65
4.8.	Análisis comparativos.....	65
<b>5.</b>	<b>EVALUACIÓN DE EFECTOS Y CUANTIFICACION DEL IMPACTO DEL PROGRAMA DE CONCESIONES DE CUARTA GENERACION EN COLOMBIA</b>	<b>66</b>
5.1.	Introducción.....	66
5.2.	Efecto 1: Cambios en Accesibilidad.....	67
5.3.	Efecto 2: Cambios en el Costo Generalizado de Transporte .....	79
5.4.	Efecto 3: Cambios en Cohesión Territorial .....	91
5.5.	Efecto 4: Cambios en Efectos de desbordamiento .....	94
5.6.	Discusión y análisis de resultados.....	96
5.6.1.	Plan Maestro de Transporte Intermodal .....	100
5.6.2.	Cobertura de la red vial Nacional y próximas generaciones .....	102
5.6.3.	Caso especial: Proyecto Mulaló-Loboguerrero.....	104
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>107</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>113</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Programas de concesiones en Colombia (1994-2015) .....	7
<b>Tabla 2</b> Primera generación de concesiones .....	8
<b>Tabla 3</b> Segunda generación de concesiones .....	10
<b>Tabla 4</b> Tercera generación de concesiones .....	12
<b>Tabla 5</b> Programa de cuarta generación de concesiones (4G) .....	14
<b>Tabla 6</b> Cuarta generación de concesiones - Fase 1 .....	16
<b>Tabla 7</b> Cuarta generación de concesiones - Fase 2 .....	18
<b>Tabla 8</b> Cuarta generación de concesiones - Fase 3 .....	20
<b>Tabla 9</b> Cuarta generación de concesiones - Fase 4 .....	22
<b>Tabla 10</b> Composición de costos variables de transporte .....	55
<b>Tabla 11</b> Criterios y efectos para la estimación de costos de transporte .....	56
<b>Tabla 12</b> Componentes de costos variables por Km .....	63
<b>Tabla 13</b> Componentes de costos fijos por mes .....	63
<b>Tabla 14</b> Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 1 .....	68
<b>Tabla 15</b> Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 2 .....	69
<b>Tabla 16</b> Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 3 .....	70
<b>Tabla 17</b> Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 4 .....	71
<b>Tabla 18</b> Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 5 .....	72
<b>Tabla 19</b> Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 6 .....	73
<b>Tabla 20</b> Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 7 .....	74
<b>Tabla 21</b> Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 8 .....	75

<b>Tabla 22</b>	Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 9 .....	76
<b>Tabla 23</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 1 .....	80
<b>Tabla 24</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 2 .....	81
<b>Tabla 25</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 3 .....	82
<b>Tabla 26</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 4 .....	83
<b>Tabla 27</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 5 .....	84
<b>Tabla 28</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 6 .....	85
<b>Tabla 29</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 7 .....	86
<b>Tabla 30</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 8 .....	87
<b>Tabla 31</b>	Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 9 .....	88
<b>Tabla 32</b>	Proyectos prioritarios 4G .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Evolución de la Infraestructura vial en Colombia .....	7
<b>Figura 2</b> Primera generación de concesiones (1994-1997) .....	9
<b>Figura 3</b> Segunda generación de concesiones (1997-1999) .....	11
<b>Figura 4</b> Tercera generación de concesiones (2001-2004) .....	13
<b>Figura 5</b> Cuarta generación de concesiones (2015) .....	15
<b>Figura 6</b> Cuarta generación de concesiones - Fase 1 .....	17
<b>Figura 7</b> Cuarta generación de concesiones - Fase 2 .....	19
<b>Figura 8</b> Cuarta generación de concesiones - Fase 3 .....	21
<b>Figura 9</b> Cuarta generación de concesiones - Fase 4 .....	23
<b>Figura 10</b> Red PMTI, dos décadas de inversión .....	25
<b>Figura 11</b> Impacto de la reducción de costos de transporte sobre las exportaciones .....	28
<b>Figura 12</b> Aumento de las exportaciones PMTI .....	29
<b>Figura 13</b> Niveles de accesibilidad .....	35
<b>Figura 14</b> División del costo operacional de transporte .....	50
<b>Figura 15</b> Metodología de Investigación .....	60
<b>Figura 16</b> Cambio porcentual de accesibilidad .....	77
<b>Figura 17</b> Comparativo del cambio porcentual de accesibilidad .....	78
<b>Figura 18</b> Cambio porcentual de costo generalizado de transporte .....	89
<b>Figura 19</b> Comparativo del cambio porcentual de costo generalizado de transporte .....	90
<b>Figura 20</b> Distribución de cohesión territorial en Colombia .....	92

<b>Figura 21</b> Cohesión territorial en el marco departamental .....	93
<b>Figura 22</b> Cohesión territorial y cambio porcentual de la accesibilidad.....	97
<b>Figura 23</b> Cohesión territorial y cambio del costo generalizado de transporte .....	98
<b>Figura 24</b> Cohesión, cambio de accesibilidad y costo generalizado de transporte .....	99
<b>Figura 25</b> Cobertura de los proyectos 4G - radio 10Km .....	102
<b>Figura 26</b> Proyecto Mulaló - Loboguerrero .....	105
<b>Figura 27</b> Proyectos prioritarios .....	109

## Definiciones, abreviaturas y acrónimos

**Asociación Público Privada (APP):** Mecanismo financiero de vinculación de capital privado, para la construcción de infraestructura pública y sus servicios asociados, coordinado mediante un contrato y la asignación de riesgos específica. Este esquema, no solamente puede aplicarse para proyectos de infraestructura vial, sino educativa, industrial, de salud, recreación, entre otras.

**Concesión:** Esquema contractual entre el Privado y el Estado, donde este último otorga al privado, el derecho de construir, mantener, operar o la combinación de las opciones anteriores, adquiriendo un beneficio de la infraestructura pública y sus servicios asociados, durante un tiempo determinado.

**Concesión vial:** Esquema contractual de concesión, aplicado a infraestructura vial.

**Proyectos viales de cuarta generación (4G):** Conjunto de proyectos de infraestructura vial por medio del esquema de concesión, lanzado por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) en el año 2011, que comprende una intervención aproximada de 8.000 Km de vías.

**Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI):** Conjunto de estrategias para el desarrollo de la red vial de transporte intermodal en Colombia. Incluye la construcción y mantenimiento de infraestructura relacionada con corredores viales, férreos, marítimos, fluviales, puertos y aeropuertos.

**Función de Costo Generalizado del Transporte (CGT):** Función compuesta por una combinación de variables temporales o costos fijos, y espaciales o costos variables, y que cuantifica el costo de transporte existente entre un par origen-destino.

**Accesibilidad:** Facilidad de obtener oportunidades, beneficios, bienes y servicios dados por un sistema de transporte o por la existencia de infraestructura para desarrollar esta actividad entre un lugar de origen y un destino.

**Efectos de desbordamiento:** Efectos positivos de la inversión en infraestructura de transporte que se extiende más allá de los límites y regiones donde se desarrolla el proyecto vial.

**Efectos de cohesión territorial:** Impactos de la aplicación de una decisión o política en la distribución espacial de una variable. Para el caso de estudio, la política será el plan de inversión en infraestructura de las vías 4G; y las variables, la accesibilidad y los costos generalizados de transporte.

## 1. INTRODUCCIÓN

La evolución de la infraestructura vial en Colombia, ha sido un proceso de perfeccionamiento a través del tiempo. Hasta el día de hoy, el Gobierno Nacional en un trabajo conjunto con organismos técnicos y administrativos ha logrado desarrollar a través de su experiencia cuatro grupos principales de proyectos de infraestructura vial conocidos como “generaciones de concesiones”.

En la evolución de cada una de estas generaciones ha sido importante la migración del desarrollo de carreteras por obra pública a la inversión privada. Antes de la década de los años 90's, la construcción de proyectos viales en el país se realizaba en general con recursos públicos, este modelo de inversión ha venido cambiando para afianzar la inversión privada como el principal vehículo para la modernización y mantenimiento de corredores viales.

El rol del inversionista privado, su relación con el Estado y el mejoramiento en las características técnicas de las carreteras con el paso de cada generación de concesiones viales, ha representado un avance significativo en la curva de aprendizaje la cual ha conducido a la implementación del conjunto de proyectos más ambiciosos y de mayor importancia reciente para Colombia, conocido como el programa de concesiones 4G.

A pesar de las características de envergadura de los proyectos de 4G, hasta la fecha, no existe información específica desarrollada mediante estudios o investigaciones que analice los beneficios de los proyectos viales de 4G, en términos de la accesibilidad proporcionada y de la influencia de la infraestructura propuesta en los costos del transporte de mercancías en Colombia.

La necesidad de cuantificar los beneficios de los proyectos de carreteras en la economía del país y en la calidad del servicio de transporte hacia los usuarios, es un tema de investigación que en los últimos años ha venido siendo ampliamente reconocido. En particular, se reconoce su gran influencia dentro del transporte de mercancías.

La cuantificación del impacto de los cambios en infraestructura en términos de la accesibilidad y costos de transporte, se logrará mediante una revisión detallada de las características técnicas de la infraestructura existente, de los proyectos futuros en dicha infraestructura y su relación con la accesibilidad y los costos de transporte. A partir de las características técnicas de los proyectos viales, los costos operativos del transporte producto de la experiencia y registros oficiales de entidades de Colombia, se logrará calcular el costo de transporte por los principales corredores del país.

Finalmente, a partir de la cuantificación de costos de transporte, se desarrollará un análisis comparativo de accesibilidad entre la condición actual y futura de la red vial con la implementación de los proyectos viales de 4G. Adicionalmente, este análisis permitirá también analizar el impacto de la inversión en los proyectos viales de 4G en la sociedad, analizando el comportamiento de variables como: costo generalizado del transporte, efectos de desbordamiento, cohesión territorial, entre otros.

A partir de estos estudios y basados en evidencia de análisis similares en otros países, podemos anticipar que las diferentes fases de los proyectos de 4G representarán una disminución de los costos de transporte entre los pares origen-destino que guardan relación directa con los mencionados proyectos. Además, se esperan disminuciones de costos de transporte importantes de forma indirecta en puntos de origen y destino que no hacen parte del trazado de los proyectos. Sin embargo, podrán existir algunas regiones y puntos de producción y consumo que no llegarán a presentar modificaciones en sus costos de transporte debido a que los proyectos de este programa no abarcan integralmente al país, y algunos de los proyectos actúan en competencia con las vías ya existentes.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo General**

Evaluar el impacto de los proyectos viales 4G, respecto a los cambios en la accesibilidad y los costos de transporte de mercancías en Colombia.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Elaborar una revisión bibliográfica de las características técnicas, alcance, logros y cambios de la primera, segunda, tercera y cuarta generación de proyectos de concesiones viales en Colombia.
- Estructurar una base de datos que permita almacenar información técnica de los principales corredores viales de Colombia. La base de datos incluirá desde la primera hasta la cuarta generación de concesiones viales. La información que contendrá la base de datos, incluye parámetros de importancia, tales como: ubicación, concesión responsable, institución del estado a cargo de la vía. Además, la base de datos incorporará características operativas, tales como: velocidad de diseño, número de carriles, pendientes, tipo de terreno, tipo de pavimento, entre otras.
- Construir la base de datos de las vías de Colombia, teniendo en cuenta la información alcanzada en el objetivo anterior, en un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Definir mediante la revisión de literatura las características y estructura de la función de costos representativa para el sistema vial de Colombia, estableciendo el número y tipo de variables temporales y espaciales que componen dicha función.
- Especificar el modelo de costos de transporte de mercancías para todos los enlaces del sistema vial de vías de primera a cuarta generación de concesiones.
- Realizar la modelización y cuantificar la accesibilidad y los costos de transporte de mercancías al considerar dos escenarios principales: antes y después de la puesta en marcha de los proyectos 4G en Colombia.

## 1.2. Contenido

La siguiente tesis de grado será desarrollada a través de seis capítulos principales.

Inicialmente, en el capítulo “Introducción”, se describe el contexto general de la investigación, los objetivos y el contenido de cada sección del documento.

Posteriormente, en el capítulo “Evolución de la Infraestructura de transporte en Colombia con participación privada”, se hará un recorrido por cada generación de concesiones o grupo de proyectos que se han desarrollado en nuestro país desde principios de los años 90 hasta la actualidad. De esta manera, el lector encontrará en secciones específicas las características del modelo concesional y las características de cada grupo de proyectos desde la primera hasta la cuarta generación. En este mismo capítulo y para cada generación de concesiones, se presenta el listado de proyectos que la componen y las consideraciones en las cuales se desarrollaron estas carreteras. Para el caso específico de los proyectos 4G, el lector encontrará los proyectos organizados en cuatro fases, donde se presenta el conjunto de vías que compone cada fase, así como el tipo de inversión que la caracteriza. Adicionalmente, se exponen las características del Plan Maestro de Transporte Intermodal PMTI, sus lineamientos en cada una de sus áreas de acción y su relación con los proyectos de 4G.

En el tercer capítulo, se desarrolla una revisión de literatura sobre accesibilidad y costos de transporte. En términos generales, se busca con este capítulo presentar el estado del arte relacionado con ambos conceptos y su relación con los proyectos de infraestructura de transporte. En este capítulo se presentan los principales trabajos académicos desarrollados en Europa y América identificando sus aportes al desarrollo de conceptos y su aplicabilidad mediante casos de estudio. Con dicha fundamentación se definirá el enfoque metodológico para el caso de estudio de las vías 4G en Colombia que se desarrolla en el cuarto capítulo. Igualmente, serán descritas las principales relaciones matemáticas y modelos relacionados con accesibilidad y costos de transporte, destacando sus elementos y variables más significativas. De esta manera, la revisión del estado del arte será el paso previo a la definición de la metodología propuesta para el desarrollo de la investigación sobre las vías 4G en Colombia.

A continuación, en el quinto capítulo denominado: “Evaluación de efectos y cuantificación del impacto del programa de concesiones de cuarta generación en Colombia” será aplicada la metodología que describen los cambios de accesibilidad, costos de transporte, cohesión territorial y efectos de desbordamiento para cada uno de los proyectos viales desde la primera hasta la cuarta generación de concesiones. Con este resultado podrán generarse escenarios comparativos de las variables en estudio y la descripción del

impacto de los proyectos viales de 4G en la accesibilidad, costos de transporte, cohesión territorial y efectos de desbordamiento.

Finalmente, serán presentadas las conclusiones y referencias de la investigación realizada. En esta sección, se realizará un análisis respecto al cumplimiento de los objetivos de investigación, y se presentará igualmente un conjunto de reflexiones del proceso realizado para la obtención de resultados. Igualmente será analizada la utilidad de los resultados del proceso investigativo y la posibilidad de generar nuevos estudios desde líneas de investigación afines.

## **2. EVOLUCION DE LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE EN COLOMBIA CON PARTICIPACION PRIVADA**

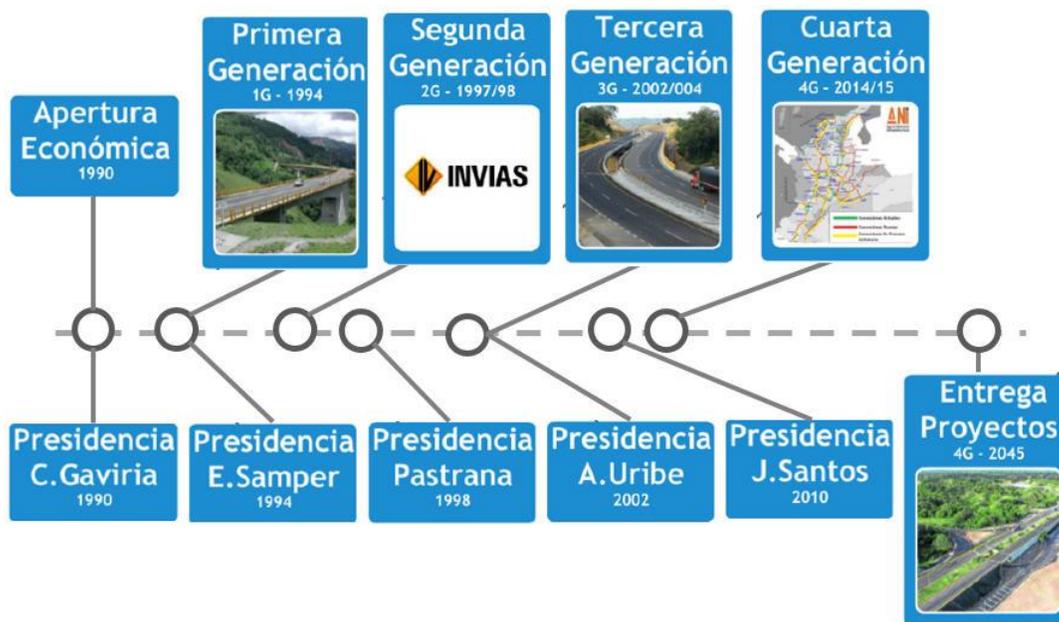
### **2.1. Introducción**

En el último cuarto del siglo XIX, la infraestructura de transporte en Colombia inicia una etapa significativa en términos de desarrollo y mejoramiento de tecnologías de construcción con la llegada de los Ferrocarriles. La incursión del modo férreo, antecedido por la navegación fluvial en el río Magdalena y la era arriera, marcaron las pautas de desarrollo y definición de corredores de comercio interno e internacional en el país. Posteriormente y en paralelo a los demás modos de transporte, el modo carretero tendría un desarrollo significativo, siendo actualmente el modo más usado para el transporte de mercancía desde sus inicios a comienzos del siglo XX.

La evolución del modo carretero y la infraestructura vial en Colombia, ha sido un proceso de perfeccionamiento a través del tiempo. Aunque la infraestructura se realizaba hace dos décadas por obra pública, se empezó a tener participación privada mediante contratos de concesión desde 1994, época en la cual a partir de un proceso de apertura económica se incentiva la participación privada en proyectos de inversión en infraestructura.

Los proyectos de infraestructura fueron agrupados en una primera generación que llevaría con el paso del tiempo a la creación de varias generaciones más. Cada generación, ha representado un avance significativo que ha conducido al conjunto de proyectos más ambiciosos y de mayor importancia reciente para Colombia con el programa de concesiones de 4G, como se muestra en la Figura 1.

A continuación, será descrito el modelo de concesiones viales en Colombia, su evolución y cada una de las generaciones en las que se ha desarrollado la infraestructura vial hasta la actualidad.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 1** Evolución de la Infraestructura vial en Colombia

## 2.2. Concesiones Viales en Colombia

La participación privada en el sector de las carreteras inició en el año 1994 con la primera generación de concesiones viales (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2013). Desde entonces, y en respuesta a una curva de aprendizaje, el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Transporte, puso en marcha dos generaciones más, y más recientemente lanzó las concesiones 4G en el año 2011 por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). En la Tabla 1 presentada a continuación, se muestra un conjunto de aspectos generales de cada una de las generaciones de concesiones viales.

**Tabla 1** Programas de concesiones en Colombia (1994-2015)

		Programas de Concesiones en Colombia			
Generación		Primera Generación	Segunda Generación	Tercera Generación	Cuarta Generación
Descripción	Año de inicio de contrataciones	1994-1997	1997 a 1999	2001 a 2004	2015
	Longitud Total del Programa*	(1.526 - 948)	(389 - 242)	(1.772 - 1.101)	(7.601 - 4.723)
	Proyectos viales	11	7	10	48
	Costo Total del Programa**	(1,7B-830M)	(0,59B-295M)	(1,9B-933M)	(53B-26.530M)

\*(Km – Millas) \*\* (COP\$ - US\$)

Costo total basado en US\$ ≈ 2.000 Pesos Colombianos, fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (2015).

Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.1. Primera generación de concesiones.

La primera generación de concesiones presentada en la Tabla 2, incluyó la rehabilitación y ampliación de 1.220 Km y la construcción de 306 Km, con una inversión total de US\$830M<sup>1</sup> (Benavides & Fainboim, 2002). Con este primer grupo de concesiones, se estableció el proyecto piloto del modelo de Asociación Público Privada en Colombia como el vehículo para mejorar las condiciones económicas y sociales en términos de facilidades de transporte e inversión privada en infraestructura.

**Tabla 2** Primera generación de concesiones

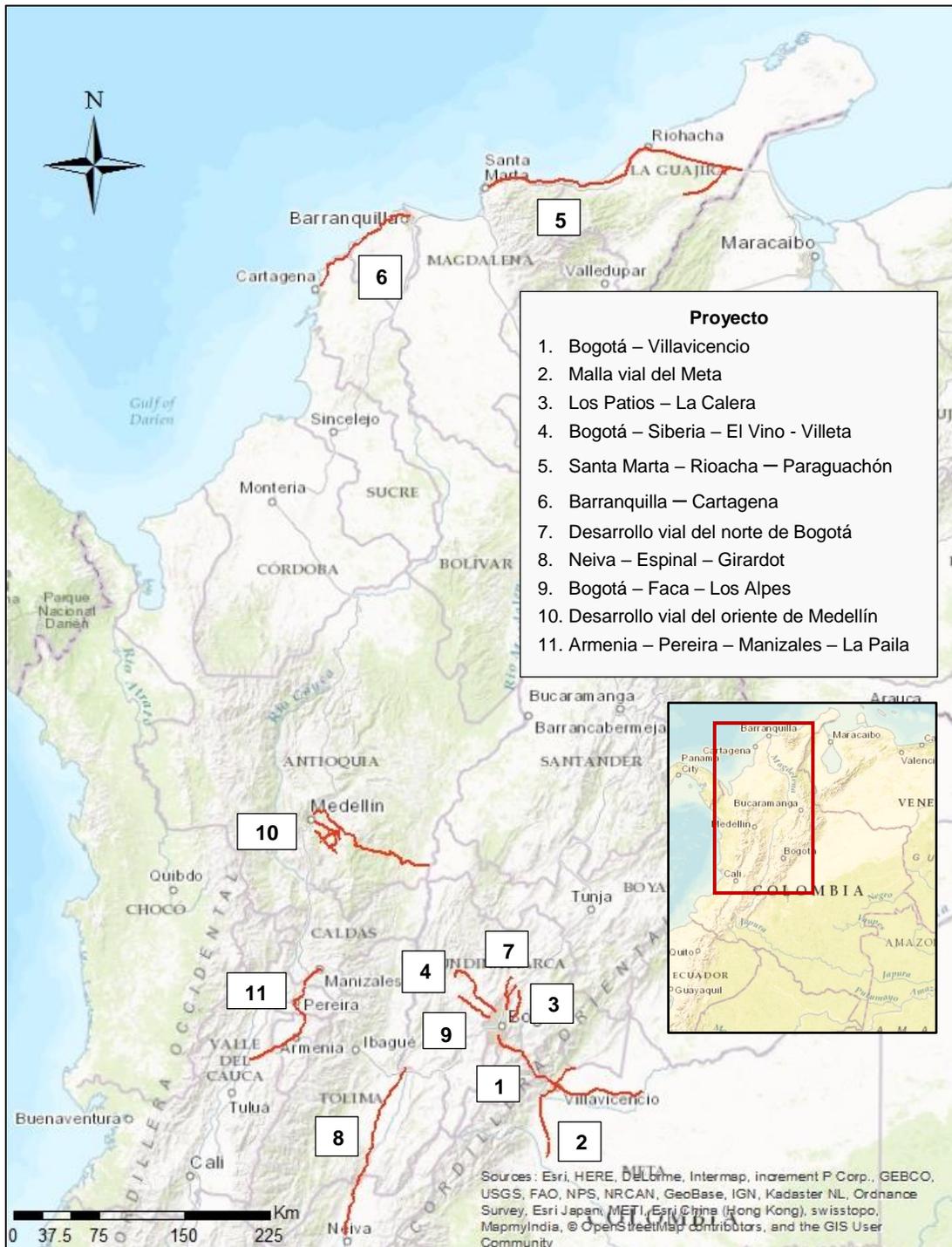
Primera generación de concesiones de 1994 a 1997			
No.	Proyecto	Longitud Total *	Departamento
1	Bogotá - Villavicencio	85,6-53,19	Cundinamarca Meta
2	Malla vial del Meta	188,34-117,03	Meta
3	Los Patios – La Calera	9,1-5,66	Cundinamarca
4	Bogotá – Siberia - El Vino – Villeta	81,7-50,77	Cundinamarca
5	Santa Marta – Rioacha – Paraguachón	285-177,10	Magdalena Guajira
6	Barranquilla – Cartagena: Circunvalar de la prosperidad	93-57,79	Atlántico
7	Devinorte: Desarrollo vial del norte de Bogotá	50,8-31,57	Cundinamarca
8	Neiva – Espinal – Girardot	168-104,40	Cundinamarca Tolima
9	Bogotá – Faca – Los Alpes	38,38-23,85	Cundinamarca
10	Devimed: Desarrollo vial del oriente de Medellín	297,10-184,61	Antioquia
11	Armenia – Pereira – Manizales – La Paila	197,6-122,79	Caldas, Tolima Risaralda Quindío Valle del Cauca

\*(Km-Millas)

Fuente: Elaboración Propia

---

<sup>1</sup> Año 1994



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 2** Primera generación de concesiones (1994-1997)

## 2.2.2. Segunda generación de concesiones.

Posteriormente, en los años 1997 y 1999, se lleva a cabo la estructuración de la segunda generación de concesiones viales en Colombia, con una longitud de 389 Km correspondiente a la Malla vial del Valle del Cauca y Cauca (Agencia Nacional de Infraestructura, 2016) e inversión total de US\$295M (año 1997) (CAF & Fedesarrollo, 2015) Con este modelo se implementaron cambios significativos en la asignación de riesgos, pasando de un Estado proteccionista, a una asignación más equitativa en función de la capacidad y conocimiento de cada una de las partes, de los riesgos del proyecto.

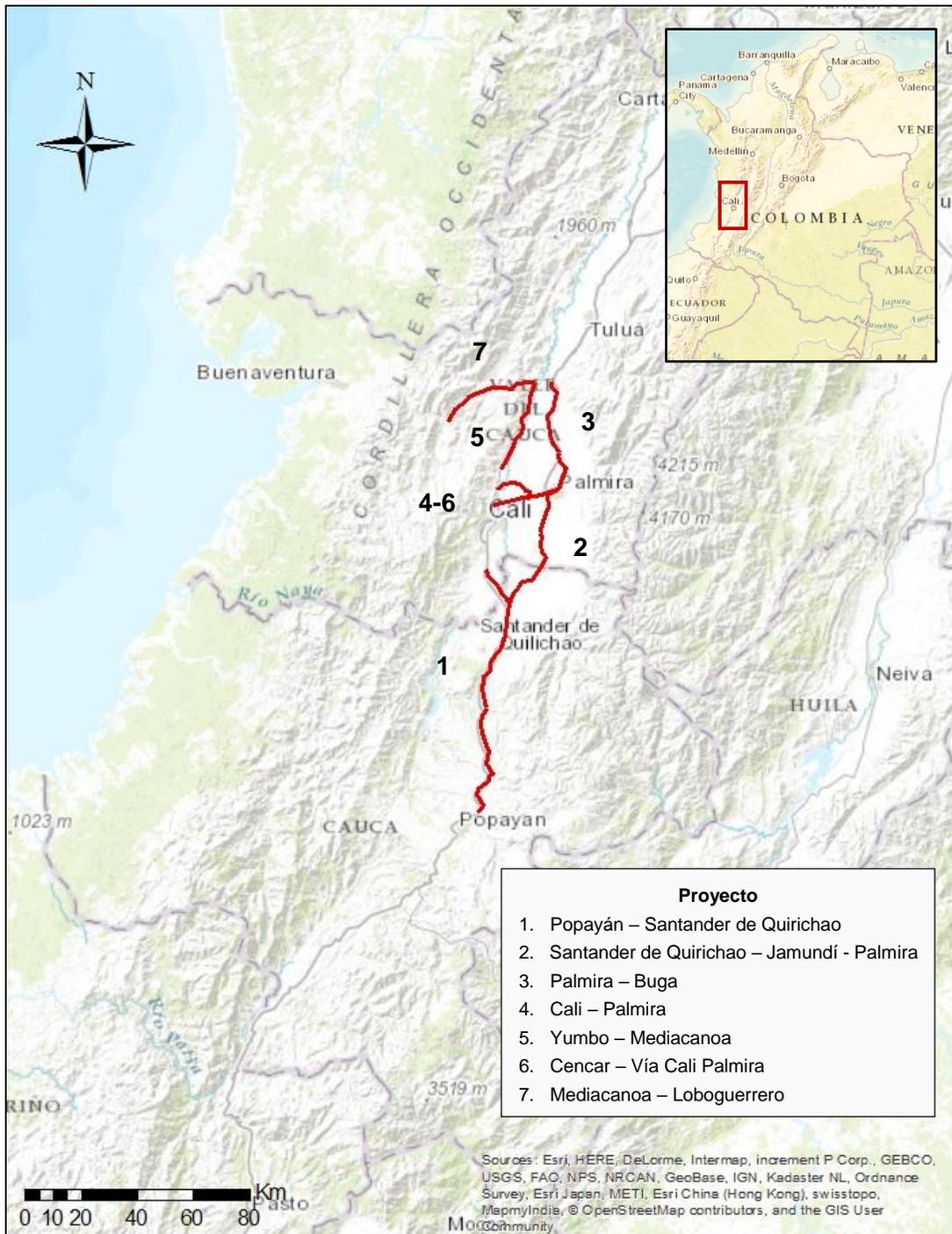
El conjunto de proyectos, siete en total, que componen la Malla vial del Valle del Cauca y Cauca o Malla vial del Cauca, se presenta en la siguiente tabla a continuación.

**Tabla 3** Segunda generación de concesiones

<b>Segunda generación de concesiones de 1997 a 1999</b>			
<b>No.</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Longitud Total *</b>	<b>Departamento</b>
1	Popayán – Santander de Quirichao	80-49,7	Cauca
2	Santander de Quirichao – Jamundí – Palmira	100-62,14	Cauca
3	Palmira – Buga	58-36,04	Cauca
4	Cali – Palmira	22-13,68	Cauca
5	Yumbo – Mediacanoa	48-29,83	Cauca
6	Cencar – Vía Cali Palmira	27-16,78	Cauca
7	Mediacanoa – Loboguerrero	54-33,56	Cauca

\*(Km-Millas)

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 3** Segunda generación de concesiones (1997-1999)

### 2.2.3. Tercera generación de concesiones.

Entre los años 2001 y 2004, fue estructurada la tercera generación de concesiones viales, resaltando en este programa la Autopista de las Américas, como uno de los proyectos más significativos; conectando Colombia, Panamá y Venezuela. El programa de tercera generación, incluyó la intervención de 1.772 Km de carretera y una inversión total de US\$933M (CAF & Fedesarrollo, 2015). Los cambios realizados en términos de asignación de riesgos, fueron la base para la conformación de la siguiente generación de concesiones. En la Tabla 4 presentada a continuación, se describe información detallada de cada uno de los proyectos de la tercera generación de concesiones.

**Tabla 4** Tercera generación de concesiones

<b>Tercera generación de concesiones de 2004 a 2001</b>			
<b>No.</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Longitud Total *</b>	<b>Departamento</b>
1	Zipaquirá – Bucaramanga (Palenque)	370-229,91	Cundinamarca Boyacá Santander
2	Briceño – Tunja – Sogamoso	219-136,09	Cundinamarca Boyacá
3	Bogotá – Girardot	283-175,85	Cundinamarca
4	Pereira – La Victoria	57-35,42	Risaralda Santander
5	Rumichaca – Pasto - Chachagüi	116-72,08	Nariño
6	Área Metropolitana de Bucaramanga	47-29,21	Santander
7	Córdoba – Sucre	125-77,68	Magdalena
8	Área metropolitana de Cúcuta	131-81,40	Norte de Santander
9	Girardot – Ibagué	131-81,40	Cundinamarca Tolima
10	Ruta Caribe	293-182,07	Bolívar Atlántico

\*(Km-Millas)

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 4** Tercera generación de concesiones (2001-2004)

#### 2.2.4. Cuarta generación de concesiones.

El último programa de concesiones o 4G, tiene un tiempo de ejecución de 30 años y está dividido en 4 fases. Según se muestra en la Tabla 5 las tres primeras fases comprenden proyectos de iniciativa pública; y la cuarta fase, de iniciativa privada. Adicionalmente, existen corredores viales proyectados por medio del fondo de adaptación, en respuesta a los efectos de fenómenos climáticos presentados entre los años 2010 y 2011, con el objetivo de mitigar y prevenir futuros riesgos; y por último, otros proyectos, no clasificados en las categorías ya citadas.

Los corredores viales de 4G en Colombia, es el proyecto más ambicioso en el área de transporte de la historia del país, con una inversión total de COP\$53B del año 2013 (US\$ 26.530 M) y una longitud total aproximada de vías intervenidas de 7.601 Km, incluyendo la construcción de 1.200 Km de dobles calzadas (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015). Respecto a las demás generaciones, los proyectos 4G, tienen una asignación de riesgos más específica y una política de aseguramiento de calidad en función de factores de desempeño (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015)

**Tabla 5** Programa de cuarta generación de concesiones (4G)

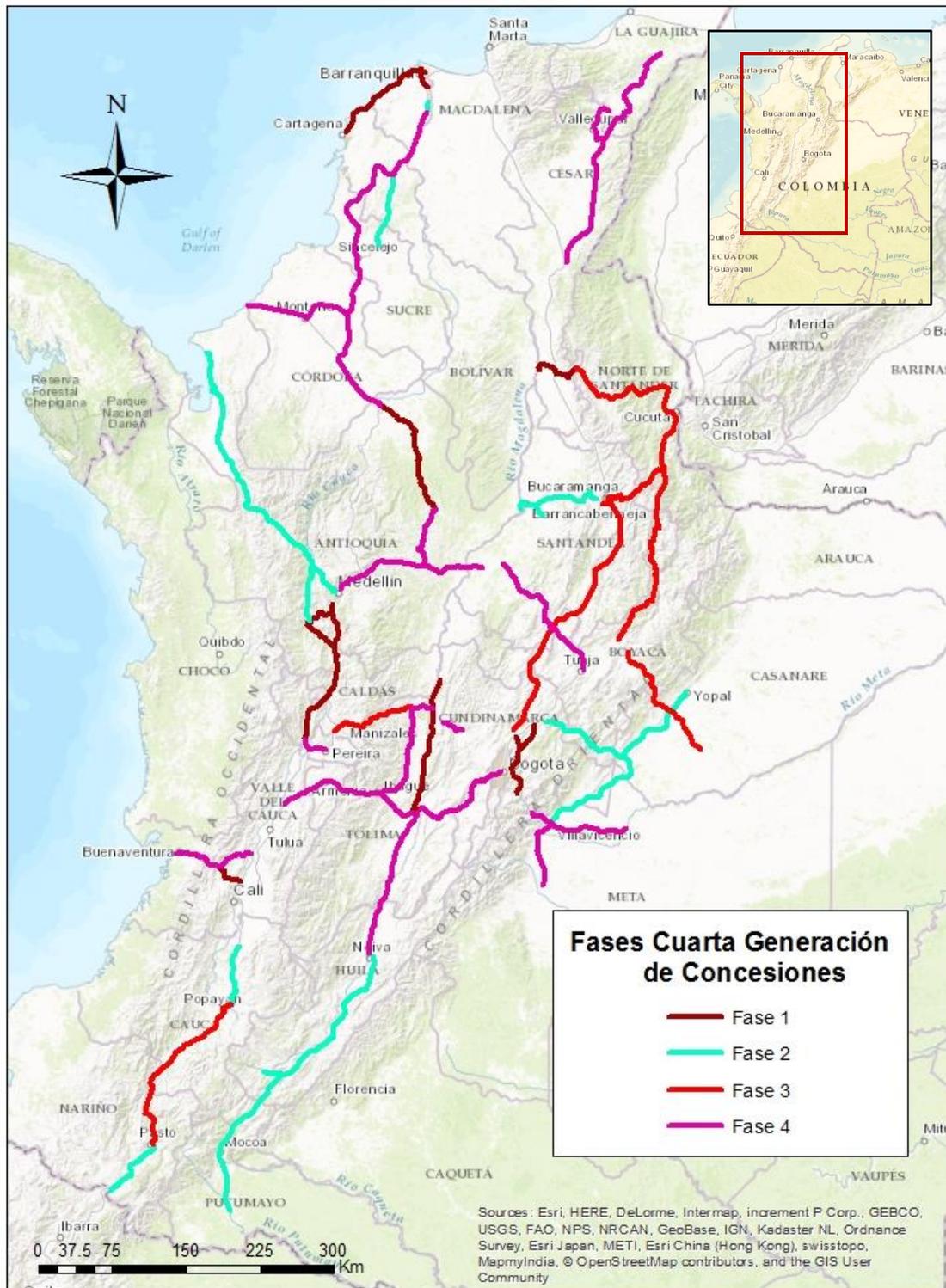
Fase	Proyectos	Longitud*	Inversión**
1	10	1.628-1,011	12.00 B – 6,000 M
2	9	1.827-1,135	11.55 B – 5,780 M
3	9	2.200-1,367	10.20 B – 5,100 M
4	17	1.487 - 924	17.70 B – 8,850 M
Otros	2	459 - 285	1.57 B - 0.784 M
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>7.601 – 4,723</b>	<b>53 B – 26,530 M</b>

\*Km-Millas

\*\*COP\$-US\$. Costo total basado en US\$ ≈ 2.000 Pesos Colombianos, , fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (2015).

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se hace una presentación del conjunto de proyectos que comprende cada una de las Fases de las concesiones viales de 4G.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 5** Cuarta generación de concesiones (2015)

### 2.2.4.1. Fase 1

La Fase 1, 2 y 3 de las concesiones 4G, hace parte del conjunto de proyectos de iniciativa pública lanzados por el Gobierno Nacional por medio de la Agencia Nacional de Infraestructura. La Fase 1 comprende 10 proyectos con una longitud total aproximada de 1.151 Kilómetros. En la Tabla 6 presentada a continuación, se especifica el conjunto de proyectos que componen esta primera fase.

**Tabla 6** Cuarta generación de concesiones - Fase 1

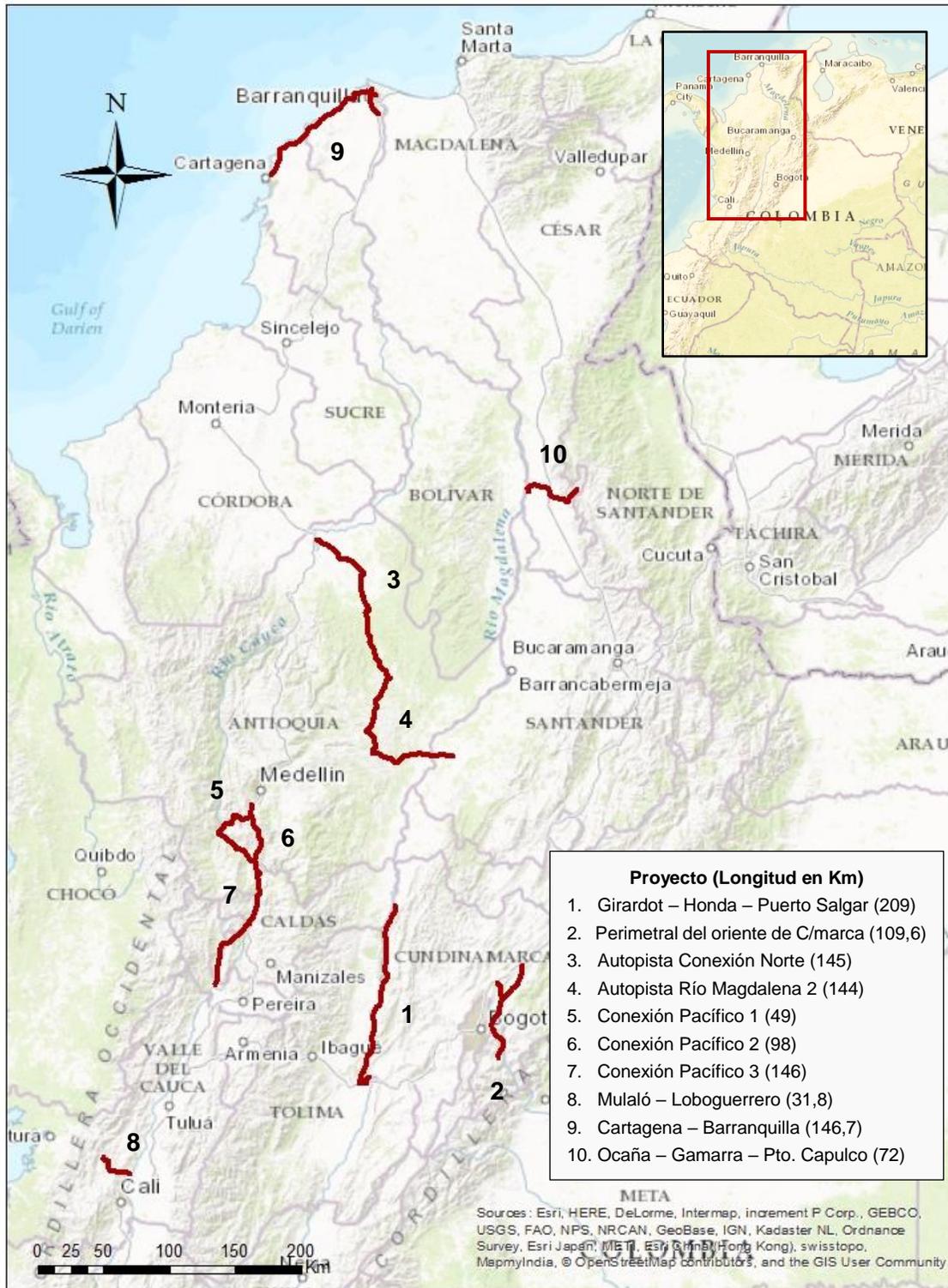
<b>Cuarta generación de concesiones año 2015 - Fase 1</b>			
<b>No.</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Longitud Total *</b>	<b>Departamento</b>
1	Girardot – Honda – Puerto Salgar	209-129,87	Cundinamarca Tolima Cundinamarca
2	Perimetral del oriente de Cundinamarca	109,6-68,11	Cundinamarca
3	Autopista Conexión Norte	145-90,10	Antioquia
4	Autopista Río Magdalena 2	144-89,48	Antioquia
5	Conexión Pacífico 1	49-30,45	Antioquia
6	Conexión Pacífico 2	98-60,90	Antioquia
7	Conexión Pacífico 3	146-90,73	Antioquia Caldas
8	Mulaló – Loboquerrero	31,8-19,76	Valle del Cauca
9	Cartagena - Barranquilla	146,7-91,16	Bolívar Atlántico
10	Ocaña–Gamarra–Puerto Capulco	72-44,74	Norte de Santander
<b>Total</b>		<b>1.151-7162</b>	

\*(Km – Millas)

Fuente: Elaboración Propia

---

<sup>2</sup> La sumatoria de distancia, es función de reportes oficiales y/o estudios preliminares de los proyectos viales, según sea el caso. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta una diferencia en la distancia total de la fase, comparado con el valor para esta en la Tabla 5.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 6** Cuarta generación de concesiones - Fase 1

### 2.2.4.2. Fase 2

La Fase 2 comprende 9 proyectos con una longitud total aproximada de 1.763 Kilómetros. En la Tabla 7 presentada a continuación, se especifica el conjunto de proyectos que componen esta segunda fase.

**Tabla 7** Cuarta generación de concesiones - Fase 2

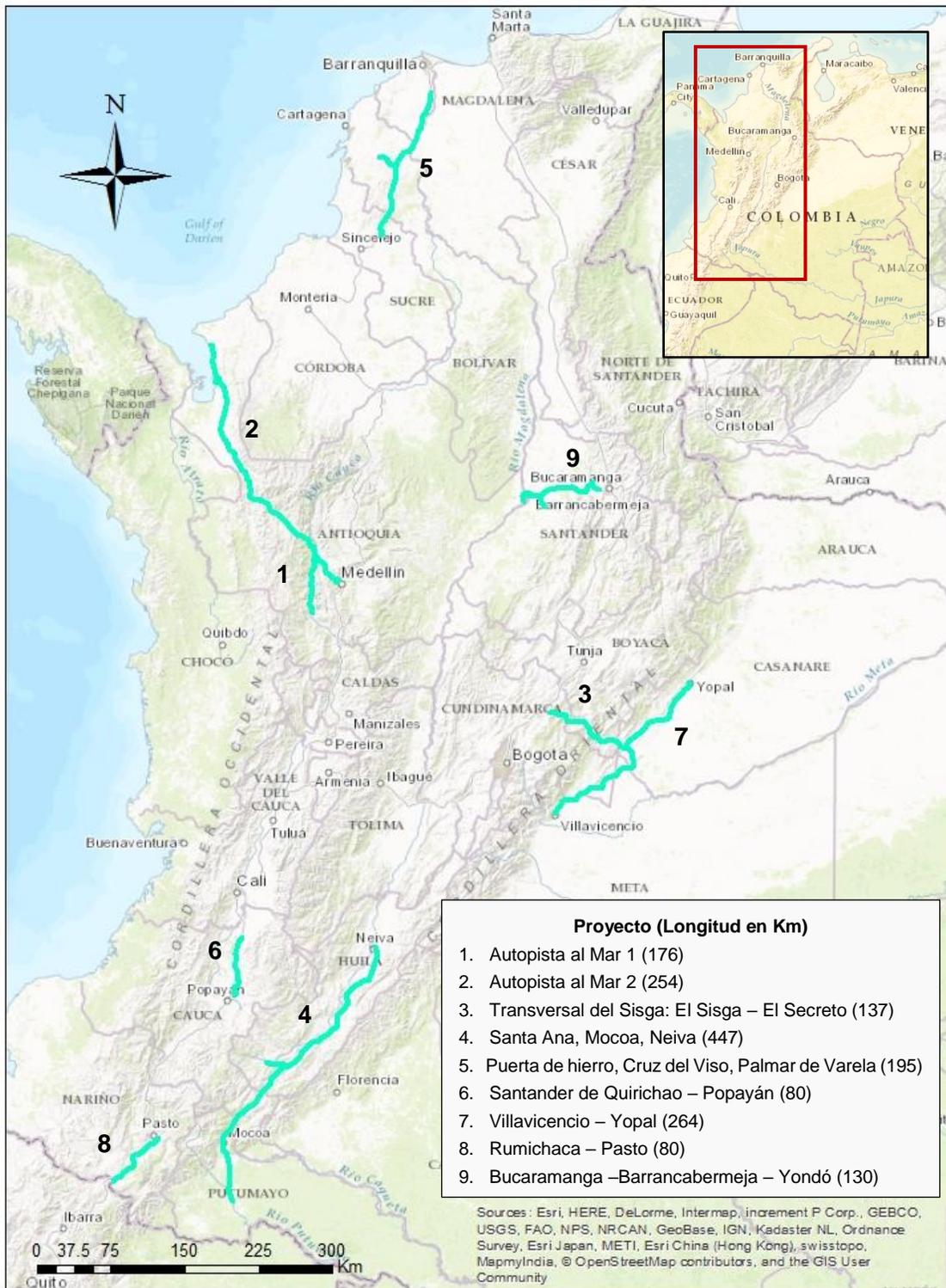
<b>Cuarta generación de concesiones año 2015 - Fase 2</b>			
<b>No.</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Longitud Total *</b>	<b>Departamento</b>
1	Autopista al Mar 1	176-109,37	Antioquia
2	Autopista al Mar 2	254-157,83	Antioquia
3	Transversal del Sisga: El Sisga – El Secreto	137-85,13	Cundinamarca Boyacá Casanare
4	Santa Ana – Mocoa – Neiva	447-277,76	Huila Cauca Putumayo
5	Puerta de hierro – Cruz del Viso – Palmar de Varela	195-121,17	Sucre Bolívar Atlántico
6	Santander de Quirichao – Popayán	80-49,71	Cauca
7	Villavicencio – Yopal	264-164,05	Meta Cundinamarca Casanare
8	Rumichaca – Pasto	80-49,71	Nariño
9	Bucaramanga – Barrancabermeja – Yondó	130-80,78	Santander Antioquia
<b>Total</b>		<b>1.763-1,0963</b>	

\*(Km – Millas)

Fuente: Elaboración Propia

---

<sup>3</sup> La sumatoria de distancia, es función de reportes oficiales y/o estudios preliminares de los proyectos viales, según sea el caso. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta una diferencia en la distancia total de la fase, comparado con el valor para esta en la Tabla 5.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 7** Cuarta generación de concesiones - Fase 2

### 2.2.4.3. Fase 3

La Fase 3 comprende 9 proyectos con una longitud total aproximada de 1.664 Kilómetros. En la Tabla 8 presentada a continuación, se especifica el conjunto de proyectos que componen esta tercera fase.

**Tabla 8** Cuarta generación de concesiones - Fase 3

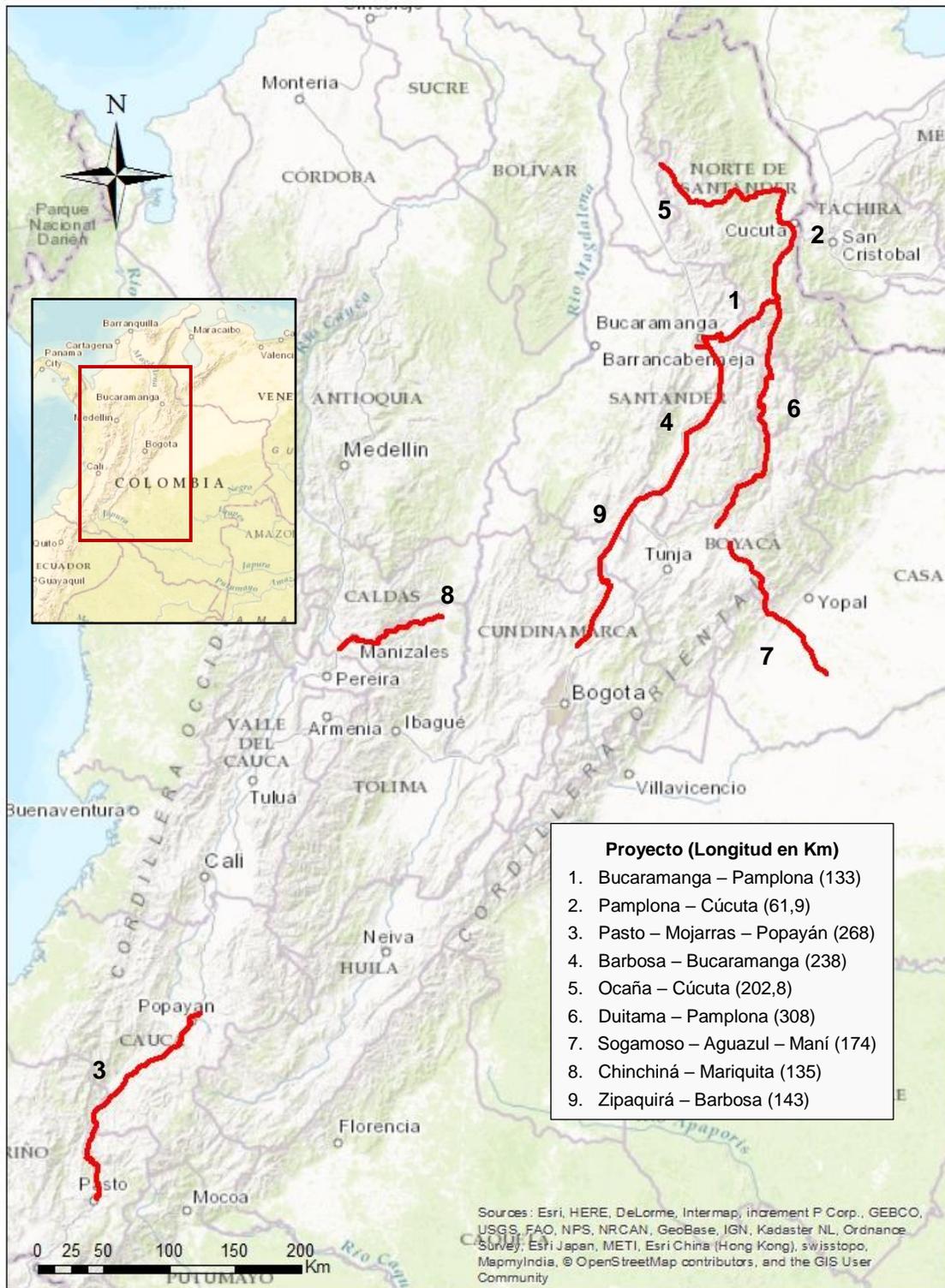
<b>Cuarta generación de concesiones año 2015 - Fase 3</b>			
<b>No.</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Longitud Total *</b>	<b>Departamento</b>
1	Bucaramanga – Pamplona	133,1-82,71	Santander Norte de Santander
2	Pamplona – Cúcuta	61,9-38,47	Norte de Santander
3	Pasto – Mojarras – Popayán	268-166,53	Nariño
4	Barbosa – Bucaramanga	238-147,89	Boyacá - Santander
5	Ocaña – Cúcuta	202,8-126,02	Norte de Santander
6	Duitama – Pamplona	308-191,39	Boyacá Santander Norte de Santander
7	Sogamoso – Aguazul – Maní	174-108,12	Boyacá - Casanare
8	Chinchiná, Manizales – Mariquita	135-83,89	Caldas - Tolima
9	Zipaquirá - Barbosa	143-88,86	Cundinamarca Boyacá - Santander
<b>Total</b>		<b>1.664-1,034<sup>4</sup></b>	

\*(Km – Millas)

Fuente: Elaboración Propia

---

<sup>4</sup> La sumatoria de distancia, es función de reportes oficiales y/o estudios preliminares de los proyectos viales, según sea el caso. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta una diferencia en la distancia total de la fase, comparado con el valor para esta en la Tabla 5.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 8** Cuarta generación de concesiones - Fase 3

### 2.2.4.4. Fase 4

La Fase 4 de los proyectos 4G, es un conjunto de proyectos de iniciativa privada. Es una fase destinada a propuestas de inversión en infraestructura diferentes a las que componen las fases anteriores estructuradas por el Gobierno Nacional. En general, la Fase 4 comprende 17 proyectos con una longitud total aproximada de 1.487 Kilómetros. En la Tabla 9 presentada a continuación, se especifica el conjunto de proyectos que componen esta cuarta fase.

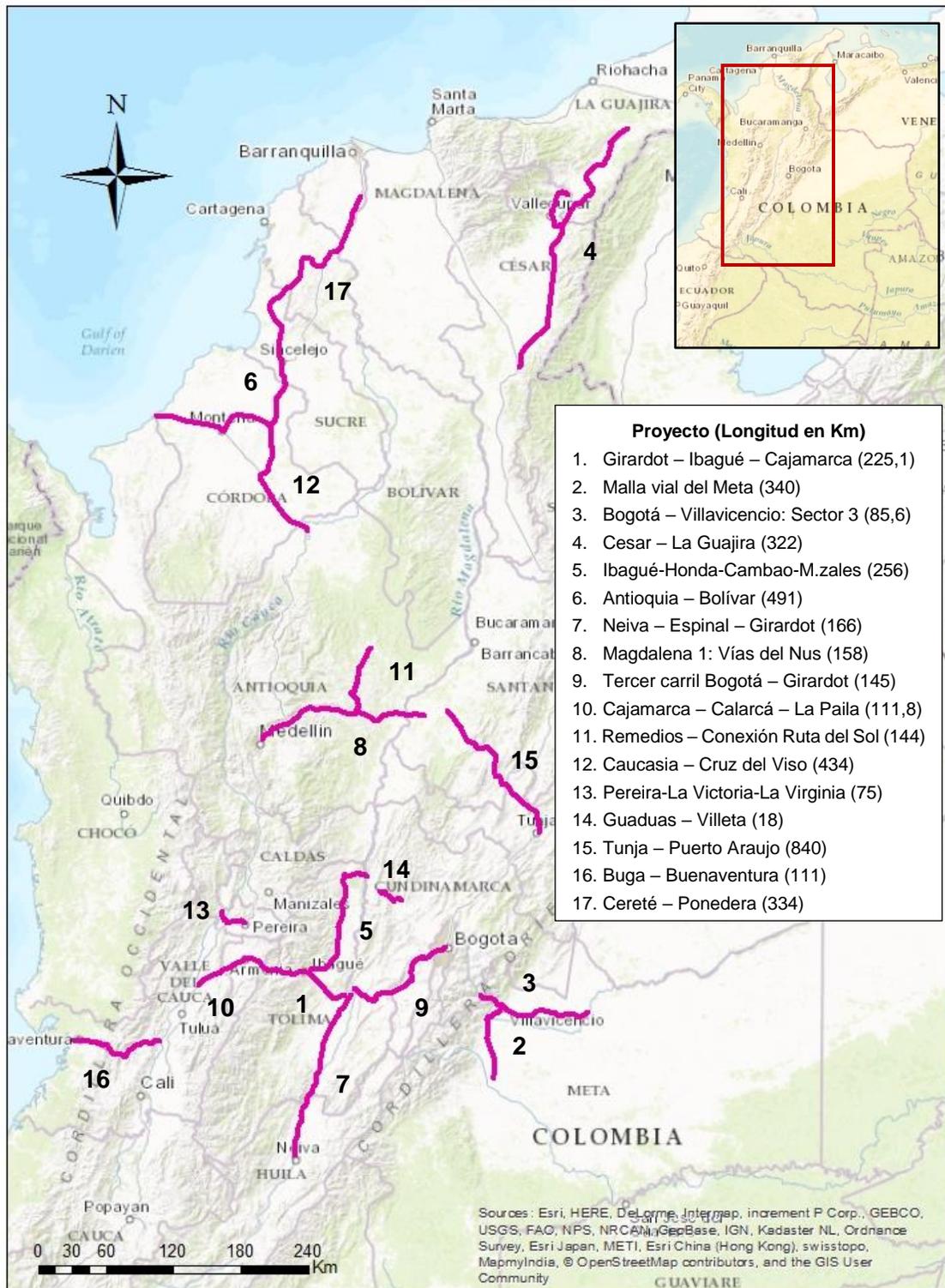
**Tabla 9** Cuarta generación de concesiones - Fase 4

<b>Cuarta generación de concesiones año 2015 - Fase 4</b>			
<b>No.</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Longitud Total *</b>	<b>Departamento</b>
1	Girardot - Ibagué – Cajamarca	225,1-139,88	C/marca - Tolima
2	Malla vial del Meta	340-211,27	Meta
3	Bogotá – Villavicencio Sector 3: Chirajara – Fundadores (Villavicencio)	85,6-53,19	Cundinamarca Meta
4	Cesar – La Guajira: San Roque - Cuestecitas	322-200,09	Guajira - Cesar
5	Ibagué – Honda - Cambao - Manizales	256-159,08	Tolima - Caldas Cundinamarca
6	Antioquia – Bolívar	491-305,10	Antioquia-Bolívar
7	Neiva - Espinal – Girardot	166-103,15	Huila - Tolima Cundinamarca
8	Magdalena 1: Vías del Nus	158-98,18	Antioquia
9	Bogotá – Girardot, tercer carril	145-90,10	Cundinamarca
10	Ruta del privilegio: Cajamarca – Calarcá – La Paila	111,8-69,47	Tolima-Quindío Valle del Cauca
11	Remedios – Conexión Ruta del Sol	144-89,48	Antioquia
12	Caucasia – Cruz del Viso	434-269,68	Antioquia Bolívar
13	Pereira – La Victoria – Cerritos – La Virginia	75-46,61	Risaralda
14	Guaduas – Villeta	18-11,19	Cundinamarca
15	Tunja – Puerto Araujo	840-521,96	Boyacá-Santander
16	Buga - Buenaventura	111-68,98	Valle del Cauca
17	Cereté - Ponedera	334-207,54	Córdoba-Atlántico
<b>Total Parcial</b>		<b>1.487 - 924<sup>5</sup></b>	

\*(Km – Millas)

Fuente: Elaboración Propia

<sup>5</sup> La sumatoria de distancia, es función de reportes oficiales y/o estudios técnicos de los proyectos. En la Fase 4 de las vías 4G, se presentan cambios continuos en el número de proyectos, teniendo en cuenta su característica de Inversión Privada. Cada proponente puede realizar modificaciones e incluso retirar su propuesta del listado de proyectos de Fase 4. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta una diferencia en la distancia total de la fase, comparado con el valor en la Tabla 5.



**Figura 9** Cuarta generación de concesiones - Fase 4

Fuente: Elaboración Propia

Resulta importante destacar que el programa de vías de 4G a diferencia de los anteriores programas tendrá un significativo avance en la calidad de la infraestructura debido a que mejorará la capacidad, la conectividad y los tiempos de viaje de toda la red con más de 125 Km de túneles, y 1.300 viaductos (46 Km) (Agencia Nacional de Infraestructura, 2015). De hecho, la cuantificación de la variación de los costos de transporte entre los distintos puntos de producción y consumo del país permitirá establecer el impacto que tendrá el programa de vías 4G en el sector de transporte de mercancías dado que del total de la carga transportada en el país, aproximadamente el 80%, es transportada por modo carretero (Beleño, 2010; Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2013).

## **2.3. Plan Maestro de Transporte Intermodal**

### **2.3.1. Introducción**

El Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI), es un conjunto de estrategias en busca del mejoramiento de la condición actual de la dinámica de transporte de mercancías en los diferentes modos de transporte en Colombia: modo terrestre, de tipo carretero y férreo; aéreo, marítimo y fluvial. Este conjunto de acciones, son lideradas por el Gobierno Nacional de Colombia, la Vicepresidencia de la República y el Ministerio de Transporte. Su horizonte de ejecución está proyectado hasta el año 2035.

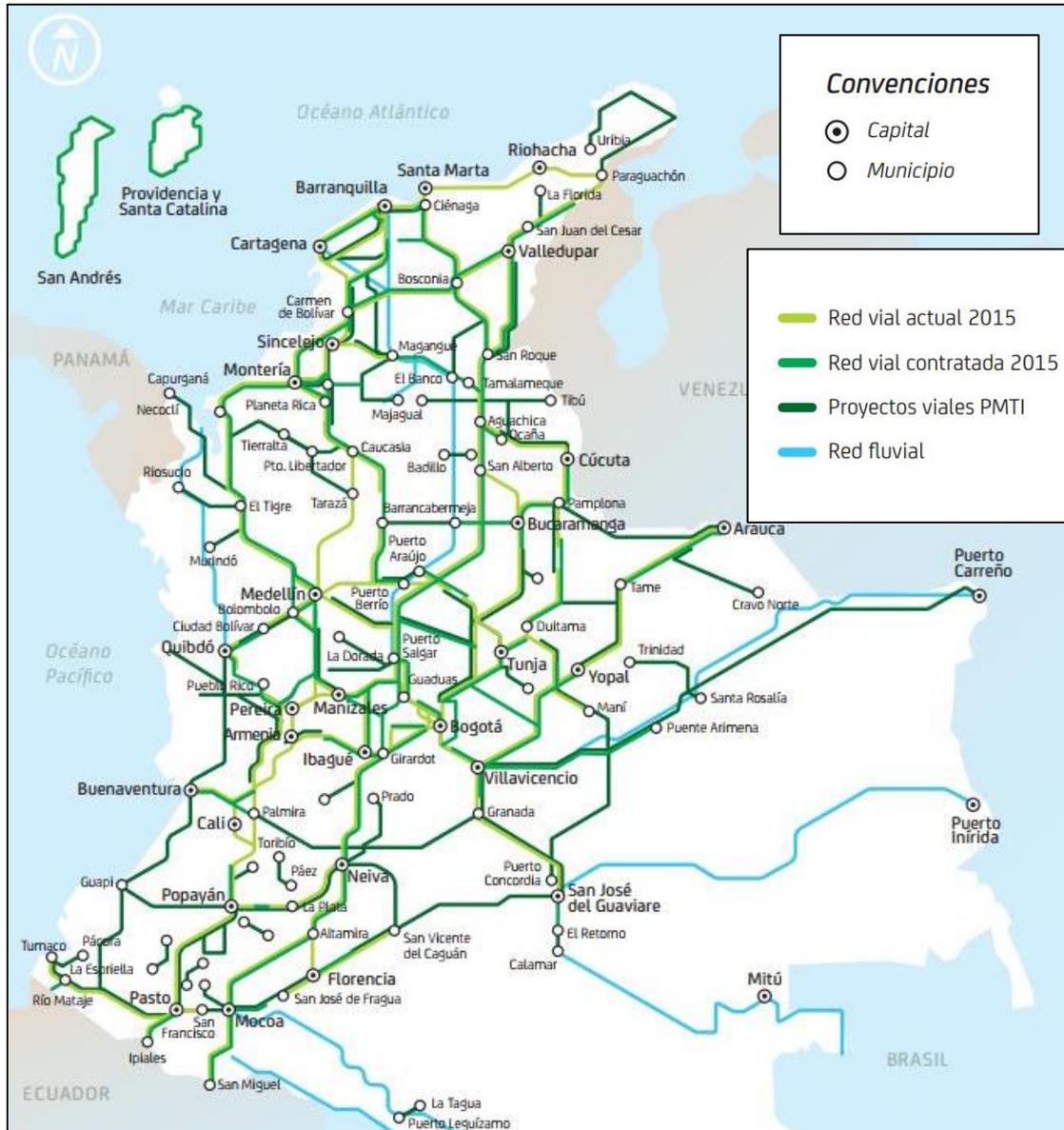
El objetivo general del PMTI es fortalecer la dinámica comercial intermodal de Colombia, así como mejorar sus condiciones de competitividad, accesibilidad, desarrollo regional y presencia del Estado, y costos generalizados de transporte para fortalecer el comercio exterior, entre otros. Cabe resaltar que actualmente Colombia se encuentra en el puesto 97 de 160 países evaluados bajo el Índice de desempeño logístico (LPI) estimado por el Banco Mundial, que evalúa aspectos como: infraestructura, competencia logística, rastreo, puntualidad, envíos internacionales, entre otros.

Actualmente, el PMTI se desarrolla en un primer módulo en miras a potenciar la productividad del país y su comercio exterior con proyectos que beneficien y conecten directamente a las ciudades-región. Este conjunto de regiones, según el documento aportan el 85% del PIB nacional, y son importantes en la conectividad con las fronteras, los puertos del Caribe y del Pacífico.

Respecto a montos de inversión para la aplicación del PMTI, en una primera década se proyecta una inversión anual como porcentaje del PIB del año 2015 de 1,31%; y para la segunda década, de 1,30% aproximadamente. Lo anterior, representa un costo total de 10,47 y 10,38 billones de pesos del año 2015 para la primera y segunda década,

respectivamente (Vicepresidencia de la República de Colombia, 2015). La inversión total tiene en cuenta el mejoramiento de la red básica de transporte, que a su vez considera elementos del transporte fluvial, férreo, carretero, el mejoramiento de puertos, canales y aeropuertos.

A continuación, se muestra el mapa de la red de transporte para Colombia proyectada para el año 2035 según los lineamientos del PMTI.



Fuente: Plan Maestro de Transporte Intermodal (2015)

**Figura 10** Red PMTI, dos décadas de inversión

A futuro, se considera una segunda fase o módulo del PMTI que tiene en cuenta los siguientes lineamientos: estructuración de políticas públicas para desarrollar la gerencia logística de corredores nacionales, desarrollo de la movilidad urbana, conformación de un sistema de gestión de activos en las redes regionales, financiación de modos alternos al terrestre carretero, entre otros.

A continuación, se describen los diferentes aspectos que componen el primer módulo del PMTI con un enfoque de mantenimiento, operación y crecimiento de infraestructura de transporte intermodal en general

### **2.3.2. Infraestructura de carreteras y transporte por modo terrestre de tipo carretero en la red vial primaria**

De acuerdo al PMTI, la red vial nacional suma alrededor de 205 mil kilómetros de carreteras con un porcentaje pavimentado inferior al 7%, representando 14 mil Kilómetros aproximadamente. Teniendo en cuenta lo anterior y según estudios realizados por el Banco Interamericano de Desarrollo, Colombia cuenta con una densidad de carreteras inferior al promedio de países de América latina con un valor de 1,9Km/100Km<sup>2</sup> comparado con 2,5 9Km/100Km<sup>2</sup> (Vicepresidencia de la República de Colombia, 2015). Así, su dotación de carreteras se encuentra por debajo de la tendencia nacional de otros países con producto interno bruto similar.

Teniendo en cuenta lo anterior, el PMTI, contempla la intervención de la red vial nacional o primaria. Desde un enfoque técnico y operativo, se menciona en el documento que un camión de carga debe alcanzar una velocidad operativa mínima de 60 Km/h en terreno montañoso, y de 80 Km/h en terreno plano. Para lograr este fin, desde un punto de vista de diseño geométrico, se plantea un cambio de trazado ajustado a la topografía, a diseños de menor distancia origen-destino mediante la construcción de túneles y viaductos en general.

Así, el PMTI incentiva el mejoramiento de corredores viales bajo este nuevo esquema y propone nuevas rutas que disminuyan la distancia recorrida y por lo tanto tiempos de viaje y costos operativos relacionados con el transporte de mercancías. Igualmente, se incluyen 101 intervenciones para la construcción y el mejoramiento de la red vial primaria no concesionada. Algunos de estos tramos, coinciden con los proyectos 4G de tercera ola.

### **2.3.3. Infraestructura de transporte por modo terrestre de tipo férreo**

Según los lineamientos establecidos en el PMTI, la intervención de la red férrea incluirá la rehabilitación de la trocha únicamente. No se contempla la construcción de nuevos corredores. En general, serán intervenidos 5 corredores, para un total de 1.769 Km.

### **2.3.4. Transporte por modo fluvial y marítimo**

Respecto al transporte por modo fluvial y marítimo, el PMTI incluye la inversión en el dragado de canales existentes, y el cumplimiento de nuevos estándares respecto a las dimensiones de embarcaciones que transitan por el canal de Panamá desde el año 2016 para los puertos de Cartagena y Buenaventura. En general, se realizarán intervenciones en 8 cauces de ríos, para un total de 5.065 Km.

### **2.3.5. Transporte por modo aéreo**

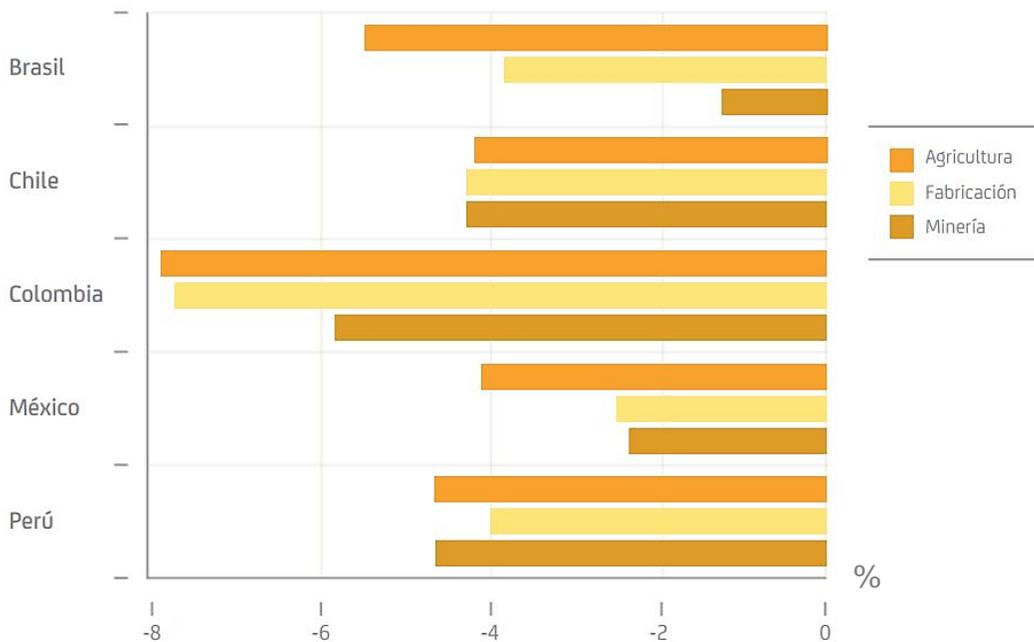
La inversión aeroportuaria según el PMTI, tiene como objetivo aumentar la capacidad de los aeropuertos principales del país, y conformar planes maestros Aeroportuarios. En total, se consideran 31 intervenciones en los aeropuertos de las principales ciudades.

### **2.3.6. Relación en cifras entre el PMTI y los proyectos viales de cuarta generación**

Con la construcción y puesta en marcha de los proyectos 4G, se espera que Colombia mejore su escenario económico, comercial e industrial. Lo anterior, con base en la evidencia empírica de desarrollo de facilidades de transporte en otros países de la región y su impacto positivo en la economía del país en general.

En general, a pesar de ser planes de inversión independientes, el PMTI y las vías 4G guardan relación directa en cuanto a la creación de condiciones de infraestructura necesarias para lograr una integración modal y de mejoramiento de las condiciones para incentivar el crecimiento económico y el desarrollo en las regiones.

Teniendo en cuenta lo anterior, se espera que producto de la implementación de proyectos 4G y otras mejoras en la red vial primaria, los costos de transporte de mercancía en Colombia disminuyan. Respecto al contexto internacional, existe evidencia de este beneficio esperado. En la siguiente figura, se muestra el impacto en porcentaje de la reducción de costos de transporte sobre las exportaciones por sector en países latinoamericanos.



Fuente: Mesquita Moreira (2013: 13)

Fuente: Plan Maestro de Transporte Intermodal (2015)

### Figura 11 Impacto de la reducción de costos de transporte sobre las exportaciones

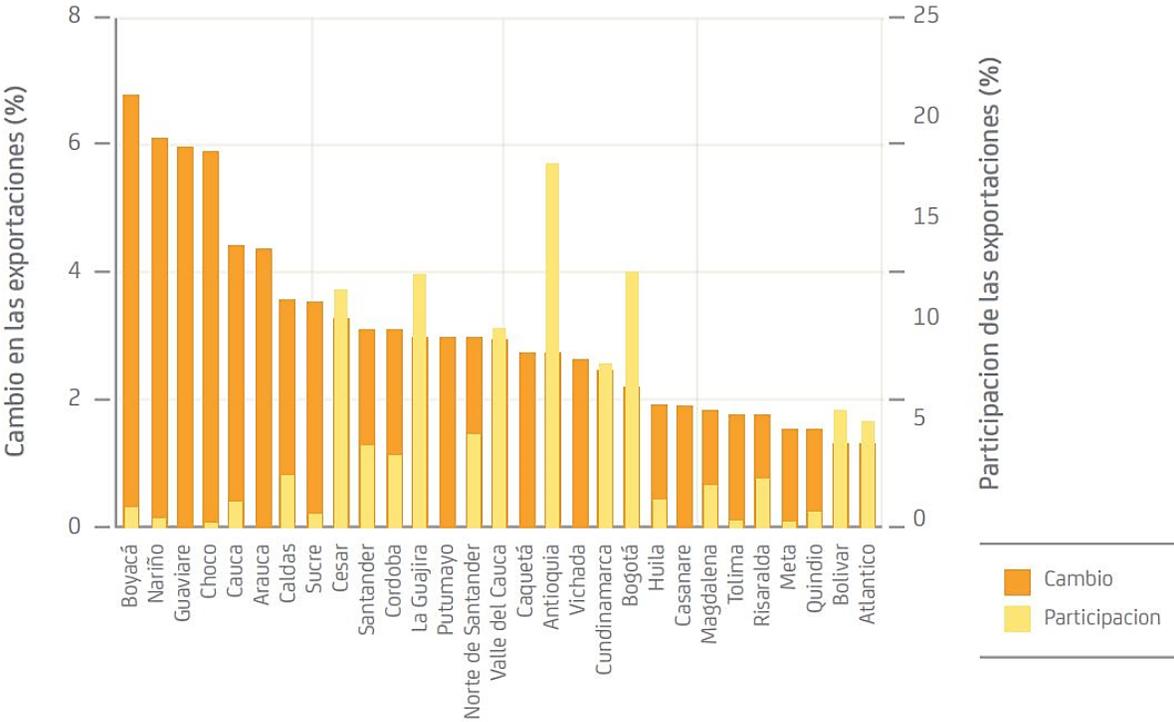
En la figura anterior, se observa la tendencia esperada de disminución de costos de transporte de mercancías en Colombia, Brasil, Chile, México y Perú. En términos generales, consideramos que es un escenario optimista, superando las condiciones de reducción de costos de los principales países de referencia en la región. Teniendo en cuenta que la producción agrícola tiene una influencia importante en la producción nacional, y teniendo como marco de referencia el impacto mostrado en el PMTI en este sector, podemos esperar un impacto económico positivo considerable en la dinámica comercial y de producción agrícola en Colombia.

Lo anterior y en un periodo de mediano plazo, en aquellas regiones donde tradicionalmente se ha concentrado esta actividad económica; y con seguridad a largo plazo en las regiones que experimentarán un efecto de desarrollo producto de la puesta en marcha de las estrategias en el área de proyectos viales contemplados en el PMTI.

En ese orden de ideas, según cifras expuestas en el PMTI, se espera que los proyectos 4G de iniciativa pública tengan una relación beneficio costo de 1,44; y de iniciativa privada, del 7,47. Dicho beneficio en relación con el sector agrícola, minero y de manufactura puede representar un crecimiento de alrededor del 7% en cada uno de estos sectores económicos.

Adicionalmente, en departamentos como Boyacá, Nariño, Guaviare, Chocó, Cauca y Arauca, las exportaciones producto del mejoramiento de la red vial nacional aumentarían en porcentajes superiores al 4% (Vicepresidencia de la República de Colombia, 2015).

A continuación, se muestra una relación gráfica entre el porcentaje de crecimiento en las exportaciones y su participación en el contexto nacional en un escenario futuro con la puesta en marcha de los proyectos 4G y las diferentes intervenciones a la red vial primaria de Colombia, propuesta en el documento del PMTI.



Fuente: Blyde (2013: 112)

Fuente: Plan Maestro de Transporte Intermodal (2015)

**Figura 12** Aumento de las exportaciones PMTI

Del anterior gráfico comparativo, resaltamos un aumento importante en las exportaciones esperadas en los departamentos de Boyacá, Nariño, Guaviare y Chocó. Adicionalmente, es importante tener en cuenta los cambios esperados en la participación de las exportaciones en La Guajira, Antioquia y Bogotá.

Podemos concluir que, el PMTI propone una serie de estrategias basadas en el mejoramiento de las condiciones de la red de transporte intermodal en Colombia, centrando sus esfuerzos en un primer módulo a la red vial primaria. En adición, las vías 4G serán un conjunto de proyectos que complementen la consecución de las metas trazadas por el gobierno nacional en materia de desarrollo y crecimiento económico. Sin embargo, cabe resaltar que la formulación de escenarios futuros, enmarcados en una corriente optimista respecto al aumento en las exportaciones y participación en las exportaciones nacionales, debe ser complementada con planes de modernización de la industria, administración el uso del suelo y políticas públicas de desarrollo industrial en las regiones.

## **2.4. Discusión**

### **Concesiones viales en Colombia**

El paso de cada generación de proyectos de concesión en Colombia ha sido un proceso de aprendizaje y perfeccionamiento a través de los años. Desde comienzos de los años 90's cada proyecto y su desarrollo ha llevado a Colombia y sus instituciones técnicas encargadas de las carreteras a crear una nueva generación de concesiones con muchos aspectos significativos por mencionar.

En este orden de ideas, podemos identificar tres áreas que han hecho de las vías 4G el plan de mejoramiento de la red vial más importante en la historia de nuestro país incluyendo: fortalecimiento institucional, creación de estándares de calidad y una nueva filosofía de diseño geométrico de carreteras.

En primer lugar, resaltamos la importancia de fortalecer las instituciones técnicas encargadas de la creación de cada proyecto de inversión en infraestructura vial y su relación con el Gobierno Nacional. En los proyectos 4G, es importante la creación de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) en el año 2011. La ANI, lidera un nuevo tipo de administración de las carreteras, procesos de licitación, contratación, diseño, construcción, mantenimiento, administración y operación de los corredores viales en el país. Sin duda, es un avance producto del aprendizaje con el paso de las tres generaciones pasadas, donde se identifica la necesidad de una gestión institucional especializada con fortaleza técnica y gerencial suficiente para liderar proyectos de inversión de alcances significativos.

El alcance de objetivos por parte de la ANI, requiere una vigilancia y control directo sobre las empresas que realizan cada una de las obras o que operan las carreteras ya construidas en años pasados. Así, el cumplimiento de estándares de calidad por medio de la evaluación de *factores de desempeño* en los proyectos 4G, garantiza el cumplimiento de los requerimientos técnicos y de operación de las carreteras traducido en bienestar y

calidad de vida del usuario. De esta manera se cuenta con una herramienta objetiva que garantiza resultados adecuados en los procesos de construcción, mantenimiento y operación de las carreteras del país. En ese orden de ideas, el control de calidad por medio de factores de desempeño es considerado como uno de los avances más importantes de las vías 4G.

También, se presenta un cambio en las características técnicas de diseño geométrico de las carreteras que tendrá un impacto significativo sobre los tiempos de viaje y seguridad del usuario de las carreteras. En las vías 4G se manejan velocidades de diseño de 80 Km/h y pendientes longitudinales máximas de 6% en promedio. Lo anterior requiere un diseño más seguro, que a su vez incentiva la innovación en técnicas de construcción de obras de altas especificaciones como túneles y viaductos. Esta nueva filosofía de diseño es considerada también un paso importante en la modernización de la infraestructura existente y en las nuevas condiciones de construcción de vías en nuestro país.

Finalmente, podemos identificar que los proyectos 4G han representado un hito en la evolución del proceso de los contratos por asociación público privada para la inversión en infraestructura vial en Colombia. Sin duda las vías 4G serán la antesala para posteriores generaciones centradas en el desarrollo de algunas zonas del país a la espera de desarrollo en materia de red vial, desarrollo económico y comercial.

### **Impacto en la dinámica comercial del mejoramiento en la red vial primaria propuesto por el Plan Maestro de Transporte Intermodal**

En primer lugar, se debe tener en cuenta la situación actual de los departamentos en función de su producto interno bruto, su aporte a la producción nacional y la presencia de proyectos viales en los mismos. Dentro de este grupo de departamentos bajo las características mencionadas, Boyacá, se encuentra al final del grupo de los diez departamentos con mayor aporte al PIB nacional; mientras que Nariño, Guaviare y Chocó, cierran la lista general de departamentos ocupando los últimos puestos y con una densidad de carreteras muy baja.

En este orden de ideas, se confirma la tendencia esperada de desarrollo en función del mejoramiento en infraestructura y el posible desarrollo de los departamentos que presentan bajos aportes en el PIB nacional, teniendo en cuenta su potencial de producción reflejado en el planteamiento del PMTI respecto a un escenario futuro.

En segundo lugar, se espera un aumento significativo en la participación de las exportaciones en la Guajira, Antioquia y Bogotá. En este conjunto de departamentos, el efecto de desarrollar el conjunto de estrategias planteadas en materia de infraestructura

vial en el PMTI potenciará regiones que actualmente lideran el aporte en el PIB de Colombia como Antioquia y Bogotá con porcentajes cercanos al 14% y 26% respectivamente, según cifras del DANE del año 2017.

En contraste a los anteriores departamentos, la producción interna de La Guajira es de aproximadamente el 1%. Es cuestionable hasta cierto grado pensar en un repunte en el aporte de las exportaciones del departamento al país, solamente con el mejoramiento en infraestructura vial. La elaboración de planes de desarrollo por medio de políticas públicas cuya base sea la inversión en infraestructura, no debe desconocer las necesidades de tipo social, educativo, de industrialización, entre otros.

Sin duda, el alcance de los indicadores y demás cifras de los diferentes escenarios futuros planteados por el PMTI para los departamentos, será función de un trabajo intersectorial e interdisciplinar en articulación con entidades del estado e instituciones académicas e investigativas que complementen la visión de nuestro país en un contexto de competencia regional y necesidad de sobresalir ante la dinámica de mercado, producción, exportación y desarrollo de la región.

### **3. INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE: EFECTOS E IMPACTOS**

#### **3.1. Introducción**

Teniendo en cuenta el avance general a nivel mundial de la caracterización económica de proyectos de infraestructura vial, es necesario evaluar el impacto de los proyectos 4G, respecto a la accesibilidad y los costos de transporte de mercancías en Colombia, siendo lo anterior, el objeto principal del proyecto de investigación desarrollado.

En materia de accesibilidad y costos de transporte, el estado del arte a nivel internacional destaca la existencia de estudios e investigaciones representativos sobre la importancia de los proyectos viales en los costos de transporte a nivel urbano e interurbano. Véase por ejemplo, los análisis a nivel urbano realizados en países como Chile (Zegras & Litman, 1997); y a nivel interurbano, en países como: España (Fomento, 2011), Inglaterra (Behar & Venables, 2010a), África (Teravaninthorn & Raballand, 2009), Francia (Combes & Lafourcade, 2005). En términos generales, se destaca que Europa presenta avances significativos en estudios de costos de transporte por modo carretero, véase por ejemplo los estudios realizados por Gavanas & Pavlidou, 2011; Karou & Hull, 2014; Ortega, López, & Monzón, 2014; Fontes, Ribeiro, & Silva, 2014; Gutiérrez, Condeço, & Martín, 2010; Tong, Yu, Cho, Jensen, & De La Torre Ugarte, 2013. Estos estudios analizan y cuantifican los efectos directos e indirectos de la inversión en infraestructura sobre variables macroeconómicas, como el empleo, y también en los efectos desbordamiento conocidos también como *spillover effects*. Dichos estudios, muestran como existe una relación estrecha entre: inversión en infraestructura, accesibilidad, integración y desarrollo económico entre las regiones. Así mismo, ante este modelo de inversión, se fortalecen las áreas de planeación y política pública, siendo este un ejemplo de transversalidad de los efectos de la inversión en infraestructura sobre variables macroeconómicas.

A continuación, se presenta una revisión de los avances académicos en estudios de accesibilidad y costos de transporte en el marco mundial.

#### **3.2. Accesibilidad**

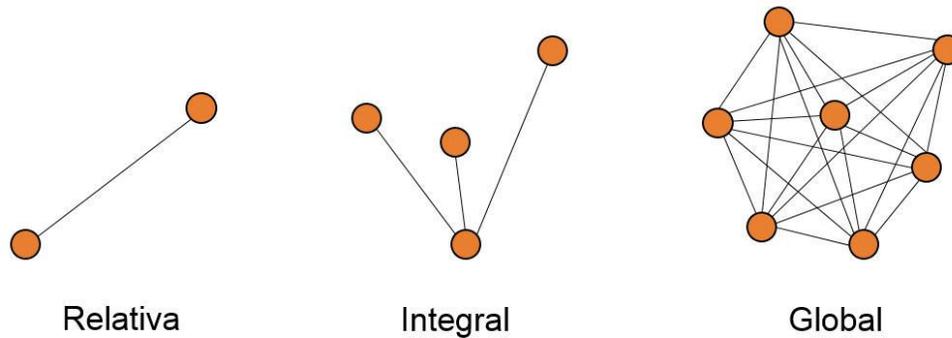
Inicialmente, debemos considerar que existe una relación directa entre accesibilidad y movilidad, desarrollo económico, bienestar social e impactos en el medio ambiente (Gutiérrez et al., 2010). A partir de estos elementos, podemos ubicar al concepto de accesibilidad en un marco de inversión y búsqueda de bienestar social a partir de la creación o mejoramiento de nuevos corredores viales. De esta manera podemos mencionar que la inversión en infraestructura, y el concepto de Accesibilidad serán significativos en la descripción del beneficio social de las comunidades relacionado con el mejoramiento o construcción de nueva infraestructura vial.

La accesibilidad, se puede definir como la facilidad de acceder a bienes, servicios, actividades y destinos (Litman, 2015). A este conjunto de beneficios, los llamaremos oportunidades. Las oportunidades en general son: movilidad, opciones de transporte, conectividad de los sistemas de transporte, uso del suelo, entre otros. De esta manera, la accesibilidad tiene una relación estrecha con la creación o mejoramiento de infraestructura, las comunicaciones y se considera catalizador de desarrollo (Fontes et al., 2014). Así mismo, ha sido un concepto utilizado frecuentemente en estudios de movilidad y representa una herramienta fundamental en la definición de políticas públicas (Bocarejo & Oviedo, 2012).

Existen otros enfoques desde los cuales puede definirse accesibilidad. Desde un punto de vista espacial, la accesibilidad caracteriza el esfuerzo requerido para superar la separación geográfica entre dos sitios, teniendo en cuenta en este caso la utilidad o ganancia de haber realizado un viaje entre dos localizaciones (Ford, Barr, Dawson, & James, 2015). Para este fin, se deben especificar indicadores de accesibilidad que cuantifiquen este beneficio obtenido por la actividad del transporte. Los indicadores de accesibilidad están compuestos por una combinación de dos funciones: Una función de impedancia y una función de actividad (Gavanas & Pavlidou, 2011).

En el primer tipo de función, se cuantifica normalmente el costo de viaje representado por unidades monetarias y de tiempo; y en la función de actividad, se cuantifica el beneficio en la productividad de la zona dado por indicadores económicos como el Producto Interno Bruto (PIB) (Gutiérrez & Urbano, 1996; Spiekermann & Wegener, 2006). Para el caso de análisis de las vías 4G y la situación actual de la red vial para el transporte de mercancías en Colombia, la función de impedancia tendrá unidades monetarias, y este parámetro definirá el cambio en el esfuerzo requerido para superar la separación geográfica entre dos puntos origen y destino determinados.

Adicionalmente, la accesibilidad se puede categorizar en: relativa, integral o global. La accesibilidad relativa está relacionada con la calidad de la conexión entre dos puntos situados en un mismo territorio; la accesibilidad integral, mide el grado de interconexión de un nodo con otros en una misma zona; y por último, la accesibilidad global es el promedio de accesibilidades globales de todos los nodos en una zona de estudio (Escobar, García, & Tolosa, 2013). En la siguiente figura, se muestra gráficamente los diferentes niveles de accesibilidad.



Fuente: Escobar, García y Tolosa, 2013

**Figura 13** Niveles de accesibilidad

La formulación más general de accesibilidad (Ford et al., 2015), sigue la siguiente expresión donde  $A$  es la accesibilidad desde un punto de origen  $i$  a un destino  $j$ :

$$A_i = \sum_j O_j * f(C_{ij}), \quad (1)$$

Donde:

$A_i$ : Accesibilidad entre un punto origen ( $i$ ) y un punto de destino ( $j$ ). Para el caso de estudio de las vías de 4G, se analizará la accesibilidad entre dos centros de producción y consumo o ciudades importantes en la dinámica comercial del país.

$O_j$ : Es la función de actividad o de oportunidades. Normalmente se establece como función de actividad el producto interno bruto de la región relacionada con el punto origen ( $i$ ) o destino ( $j$ ). Sin embargo, existen diferentes tipos de funciones que pueden ser utilizadas como función de actividad o de oportunidades en función del tipo u objetivo del estudio.

$C_{ij}$ : Es la función de costos, representada por el cálculo de distancia, tiempo de viaje o costo de transporte entre un punto de origen ( $i$ ) y un punto de destino ( $j$ ) determinados.

En este tipo de formulación, la accesibilidad y las funciones que la definen guardan una relación inversa. Una disminución en la magnitud de la accesibilidad, representa mejores oportunidades en el desarrollo de la actividad del transporte. Este mejoramiento, normalmente es consecuencia de una actualización de infraestructura y puede ser considerado como el producto o beneficio principal de un sistema de transporte. La construcción de infraestructura incrementa las ventajas competitivas de las regiones. Por esta razón, la accesibilidad es una variable significativa en la medida de mejoramiento económico, donde las regiones, sus habitantes y el desarrollo de sus actividades diarias se ven beneficiados (Condeço-Melhorado, Tillema, de Jong, & Koopal, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, la comparación entre la situación actual de la infraestructura vial para el transporte de mercancías en Colombia y un escenario futuro con

el plan de inversión en las vías 4G, representa el método más conveniente para evaluar el nuevo comportamiento de la accesibilidad e implícitamente el cambio en las variables de desarrollo económico, conectividad y ventajas competitivas de las regiones por donde están proyectados cada uno de los trazados de este nuevo programa de concesiones viales.

### 3.2.1. Función de impedancia

A partir del concepto de accesibilidad, nace la necesidad de cuantificar este beneficio social producto de la inversión en infraestructura. La función de impedancia es la manera de cuantificar el costo de llevar a cabo la actividad de transporte entre un punto o nodo de origen y un destino. Su magnitud puede estar representada en unidades monetarias, de tiempo, distancia, productividad, o la combinación entre ellas.

La medida más sencilla de impedancia o costo de transporte entre dos puntos es la distancia euclidiana, un método utilizado típicamente en los primeros análisis de este tipo (Ford et al., 2015; Gonçalves, De Morais, Faria, & Da Silva, 2014). Adicionalmente, la función de impedancia puede representarse como una función de costo. El costo operacional de un viaje origen-destino puede expresarse de la siguiente manera:

$$G = g(C_1 + C_2 + \dots + C_n), \quad (2)$$

Donde:

$G$ : es el costo total operacional de la actividad de transporte.

$C_1, C_2$  hasta  $C_n$ : son los componentes o costo de cada tramo de viaje. En este tipo de formulación, cada uno de estos costos por tramo, compone al costo total ( $G$ ).

Además de la función de impedancia como una medida de distancia, es común utilizar una función de Costo Generalizado de Transporte ( $CGT$ ) la cual utilizaremos para el estudio de las vías 4G. Esta función relaciona variables temporales y monetarias (tiempo y dinero). La función  $CGT$  aplicada a un proyecto de infraestructura es muy útil cuando se quiere evaluar la perspectiva del usuario y de la sociedad (Litman, 2015). Igualmente, representa un tipo de medida de accesibilidad que indica la dificultad de viajar entre dos localizaciones diferentes (Taylor, Sekhar, & D'Este, 2006). Teniendo en cuenta lo anterior, podemos expresar la función de  $CGT$  a partir de sus elementos como (Ford et al., 2015):

$$CGT = aD + bT, \quad (3)$$

Donde:

$CGT$ : Costo generalizado del transporte.

$aD$ : Función lineal espacial donde  $D$  es la distancia entre origen y destino.

$a$ : es la constante que describe el comportamiento de la variable  $D$ . Por ejemplo, el costo de la actividad de transporte por kilómetro representada en unidades monetarias por Kilómetro recorrido ( $\$/Km$ ).

$bT$ : Función lineal temporal donde  $T$  es el tiempo de viaje entre origen y destino.

$b$ : es la constante que describe el comportamiento de la variable  $T$ .

En general, y bajo una revisión apropiada de las diferentes metodologías para la cuantificación de proyectos de infraestructura, la función de accesibilidad y su cuantificación mediante funciones de impedancia o costo total, es el criterio apropiado para evaluar el servicio ofrecido a los usuarios por un sistema de transporte (Morris, Dumble, & Wigan, 1979) o para nuestro caso de estudio, un proyecto de inversión en infraestructura como las vías 4G. La función de  $CGT$  será una combinación lineal de parámetros espaciales y temporales, donde las constantes que acompañan cada tipo de variable están dadas por coeficientes de origen experimental reportados en informes oficiales de costos operacionales de transporte emitidos por entidades del Estado.

### **3.2.2. Efectos de desbordamiento**

La cuantificación del impacto de los proyectos de inversión o mejoramiento de vías distribuido en las regiones y grupos de personas guarda una relación directa con la accesibilidad y su medición por medio de los efectos de desbordamiento o *spillover effects*. Los efectos de desbordamiento miden la contribución del mejoramiento de la infraestructura en una red de transporte. Así mismo, estos efectos pueden traducirse en: competitividad, eficiencia de la red de transporte, desarrollo regional, crecimiento y desarrollo económico (López, Monzón de Cáceres, Ortega Pérez & Mancebo Quintana, 2008).

El mejoramiento en la red de transporte de un Estado, puede beneficiar las actividades económicas de una región específica o de regiones cercanas. Dichas actividades económicas incluso pueden ser relocalizadas cuando existen mejores características de infraestructura y mantenimiento vial en una nueva zona o región. Estudios anteriores (Tong, Yu, Cho, Jensen, & De La Torre Ugarte, 2013) muestran que el 1% de inversión en nueva infraestructura o mantenimiento vial, puede aumentar la producción en países agrícolas del 0,02 al 0,03%. Esta ventaja competitiva en la producción u otras características económicas en general, no solamente se experimenta en la región en la cual se encuentra la industria, sino también en otras regiones cercanas a los centros de producción.

Esta extrapolación de beneficios más allá de las zonas donde se da la inversión o el mantenimiento de infraestructura, son llamados Efectos de Desbordamiento o *Spillover effects*. De esta manera, la inversión en el mejoramiento o construcción de nueva infraestructura de transporte trae como consecuencia impactos positivos o negativos sobre las personas, comunidades, organizaciones o empresas.

Específicamente, cuando se presentan efectos de desbordamiento que mejoren las condiciones actuales de las regiones, comercio, mercados, bienestar social, entre otros, se consideran externalidades positivas; y cuando el efecto es negativo y trae consigo ciertos daños o genera una pérdida de calidad en las condiciones existentes, puede considerarse como externalidades negativas, por ejemplo: congestionamiento, contaminación del medio ambiente, emisión de gases de efecto invernadero, entre otros.

A continuación, se exponen los diferentes tipos de efectos de desbordamiento en función de su alcance regional: efectos espaciales y no espaciales.

### **3.2.2.1. Tipos de efectos de desbordamiento**

Basados en un avance del estado del arte y teniendo en cuenta que la inversión en construcción o mejoramiento de infraestructura vial tiene efectos considerables sobre la economía y el desarrollo de las regiones, vale la pena identificar dos tipos de efectos de desbordamiento: efectos espaciales y no espaciales (Vickerman, 1996). Los efectos espaciales, tienen en cuenta el impacto en el desarrollo de una o varias actividades económicas en una región o varias regiones donde se realice la mejora en infraestructura. En este tipo de efectos se analizan variables como: producción, acceso a bienes públicos y capital privado, o una combinación de estos.

En segundo lugar, los efectos no espaciales guardan una relación directa con la actividad económica en su conjunto y la mejora de competitividad. Así mismo, dentro de los efectos de desbordamiento se debe tener en cuenta una reducción en los costos de transporte que beneficia directamente a grupos económicos en las regiones y entre regiones (López, Monzón, Ortega & Mancebo Quintana, 2009).

Para el caso de la inversión en vías 4G, el Gobierno Nacional está realizando una apuesta importante a metas de crecimiento económico y de desarrollo social. Sin duda, las regiones y las comunidades experimentarán no solamente en la región donde se realicen los proyectos algún tipo de cambio en sus actividades económicas y de transporte, siendo entonces una aplicación clara del concepto de Efectos de Desbordamiento, producto del plan de inversión en infraestructura más ambicioso en la historia de Colombia.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos identificar que la inversión en infraestructura, debe alcanzar efectos espaciales y no espaciales sobre las regiones y su comunidad que contribuya a alcanzar metas económicas y de mercado. Los sistemas de transporte deben ser el vehículo para mejorar la eficiencia y equidad en las actividades que realicen las personas en busca de oportunidades, logrando de esta manera la liberación recursos, ahorro en tiempos de viaje y participación social (Martínez & Viegas, 2013).

Respecto a un contexto de mercado, se espera que los efectos de desbordamiento en la economía incluyan la apertura al mercado de exportación e importación, el mejoramiento del bienestar social de las personas y el desarrollo de las economías de escala (Hu & Liu, 2010). Estas metas adquieren gran importancia para el desarrollo de planes de inversión y formulación de proyectos de infraestructura de transporte (Gutiérrez et al., 2010), teniendo en cuenta que la adecuada condición de la infraestructura vial representa un insumo más en el proceso productivo de la industria (Condeço-Melhorado, Martín, & Gutiérrez, 2011).

A continuación, se presenta el caso de estudio de medición de efectos de desbordamiento en los países de China, Estados Unidos y Holanda. Para cada uno de los casos, será presentado un contexto general de la investigación, la metodología aplicada y los resultados y reflexiones finales importantes para el desarrollo del análisis de la red vial de Colombia y los proyectos viales de 4G del presente estudio.

### **3.2.2.2. *Medición de efectos de desbordamiento: casos de estudio.***

#### **Primer caso de estudio: Estimación de efectos de desbordamiento del transporte en el crecimiento económico de China.**

Fuente, artículo: Transportation, economic growth and Spillover effects: The conclusion based on the spatial Econometric model. Hu y Liu, 2010.

#### *Contexto general*

Desde un proceso de reforma y apertura económica, China se ha desarrollado a una velocidad considerable. Igualmente, la industria del transporte en China ha tenido el desarrollo más importante en su historia.

El artículo, analiza los efectos de desbordamiento en la economía de China desde una perspectiva teórica y práctica. Los autores, agrupan información de 28 provincias desde 1985 hasta el año 2006, con el fin de aplicar metodologías que describan el conjunto de externalidades positivas de la inversión en infraestructura en el periodo de tiempo mencionado.

## *Metodología*

La función matemática a aplicar está basada en los modelos de Douglas y Anselin, donde se caracteriza la productividad de las regiones medida como producto interno bruto, a través de una combinación lineal de parámetros que tiene en cuenta: capital, trabajo, errores aleatorios y la eficiencia de transporte en la región.

También, desde un punto de vista experimental, se tiene en cuenta la distancia entre regiones y su interacción como un elemento importante en la evaluación y análisis de efectos de desbordamiento.

## *Resultados y reflexiones finales*

Como resultado general del estudio, se concluye que existen externalidades positivas producto del desarrollo en infraestructura en China. Lo anterior, calculado desde un punto de vista teórico e igualmente desde un enfoque práctico.

Del total de contribución económica resultado de las inversiones en la red de transporte, alrededor del 21% fue dado por efectos de desbordamiento. En total, la contribución directa y los efectos de desbordamiento debido al desarrollo en materia de transporte, aportó por año de estudio un 13,8% en el crecimiento económico de las regiones. Lo anterior, traduce que desde el año 1985 hasta el 2006 por cada 1% de inversión en transporte, la economía obtenía un crecimiento del 0,058%.

Sin embargo, se identifica también que la obtención de beneficios económicos depende de la interacción entre regiones vecinas y que no solamente los parámetros internos de capital, trabajo e infraestructura del transporte son determinantes en los estimados de externalidades positivas en la economía.

Finalmente, se realiza una reflexión respecto a la relación entre desarrollo económico, pobreza, ingreso de los hogares y desarrollo de infraestructura. Es mencionado que el desarrollo económico es la mejor estrategia para reducir la pobreza e incrementar los ingresos de los hogares. De esta manera, se cuenta con la inversión en infraestructura como una estrategia válida para incentivar el desarrollo en las regiones y generar externalidades positivas que contribuyan a mejorar las condiciones de pobreza e ingresos.

## **Segundo caso de estudio: Evaluación de efectos de desbordamiento de la infraestructura del transporte en la producción agrícola de Estados Unidos.**

Fuente, artículo: Evaluating the spatial Spillover effects of transportation infrastructure on agricultural output across the United States. Tong et al., 2013.

### *Contexto general*

La investigación tiene como objetivo la cuantificación de beneficios y efectos de desbordamiento del desarrollo de infraestructura de transporte desde 1981 hasta 2004 sobre la producción agrícola en 44 de 50 estados de Estados Unidos.

En términos generales, y con base en estudios anteriores, se espera que la generación de efectos de desbordamiento sea positiva en la relación existente entre infraestructura y economía.

Los resultados del estudio, tienen un uso potencial en los hacedores de políticas públicas respecto a la adjudicación de proyectos de infraestructura, teniendo en cuenta como estos pueden impactar los sectores de estados agrícolas.

### *Metodología*

Como hipótesis inicial para el desarrollo del análisis, se considera que la inversión en infraestructura tiene un efecto de desbordamiento estadísticamente válido respecto a los estados vecinos.

El modelo de cálculo para confirmar la hipótesis planteada es el Modelo espacial de Durbin (SDM). Este modelo, permite considerar variables de tipo dependientes e independientes. Adicionalmente, el modelo seleccionado ha sido aplicado en estudios anteriores de efectos de desbordamiento en agricultura como los desarrollados por Le-Sage and Pace en el año 2009.

En general, el modelo matemático aplicado es de tipo lineal, considerando las siguientes variables representadas por factores en la determinación de las externalidades positivas de la inversión en infraestructura sobre la agricultura: productividad del estado, infraestructura del transporte, capital, trabajo, insumos y factores relacionados con el uso de la tierra.

Del conjunto de factores especificados anteriormente, el factor de productividad del estado, está generado a partir de cantidades y precios de mercado de productos del agro. El factor de capital, es estimado a partir del stock en activos y su precio de alquiler. El factor laboral, se especifica en función de horas laborales y pago por horas extra. El factor de insumos, es función de la demanda en el proceso agro de productos químicos, energía, pesticidas, entre otros. Finalmente, el factor de uso de la tierra, se estima con base en el área de tierra destinada a la actividad agrícola, respecto al área total del estado.

### *Resultados y reflexiones finales*

Los resultados muestran que la existencia o mejoramiento de infraestructura en zonas de producción agrícola, mejora sus resultados producto del efecto de desbordamiento y que esta externalidad positiva no solamente se da en el estado donde se encuentra el corredor, sino en estados vecinos.

En afirmación a la conclusión anterior, el cálculo del modelo lineal estima que por cada 1% de inversión en infraestructura, la producción agrícola puede incrementarse entre un 0,02 y 0,03%.

Finalmente, y teniendo en cuenta la utilidad de la investigación en el diseño de planes y políticas públicas, el autor menciona que el mantenimiento y construcción de corredores viales tiene un efecto directo en la economía agrícola. Así, se considera importante tener en cuenta esta relación para trazar metas respecto al crecimiento económico de los estados mediante efectos de desbordamiento a largo plazo.

### **Tercer caso de estudio: Medición de efectos distributivos y de desbordamiento para un nuevo corredor vial en Holanda.**

Fuente, artículo: Distributive effects of the new highway infrastructure in the Netherlands: the role of network effects and spatial spillovers. Condeço et al., 2014.

### *Contexto general*

Este estudio desarrolla el análisis de dos autopistas proyectadas en la ciudad de Eindhoven en Holanda. En total, la región está compuesta por 21 municipalidades. La nueva vía será financiada principalmente por el gobierno nacional y local de la ciudad. En términos de cálculos, será determinado el ahorro en tiempos de viaje y su cuantificación en unidades monetarias.

## *Metodología*

Inicialmente, se realiza el compilado de información técnica y de localización de la red actual existente con un total de 48.073 arcos que cubren Holanda, parte de Alemania y Bélgica.

Respecto a la estimación de efectos de desbordamiento de la nueva vía, se utiliza un sistema de información geográfica llamado Flowmap y un modelo matemático llamado INDY que puede simular flujos de tránsito y congestión. Cada una de estas herramientas ha sido aplicada en estudios anteriores. Básicamente, se tiene en cuenta el siguiente grupo de variables en la modelación del escenario actual y futuro: tipo de vía, velocidad a flujo libre, capacidad y tiempo de viaje en minutos entre los diferentes puntos origen-destino.

Finalmente, se hace una traducción de resultados en términos monetarios con el fin de estimar cómo pueden ser financiados los corredores entre los diferentes inversionistas.

## *Resultados y reflexiones finales*

Los resultados muestran que, respecto a la construcción del nuevo corredor, serán generados efectos de desbordamiento en la cercanía del proyecto en función de tiempos de viaje y costos de transporte. Teniendo en cuenta lo anterior, se menciona que ignorar estos efectos positivos puede llegar a subestimar la inversión en proyectos de transporte y su rentabilidad.

Respecto al comportamiento de las externalidades en el campo espacial, estas presentan una mayor intensidad en los puntos de comienzo y fin de la vía. Sin embargo, hubo zonas donde el beneficio fue mínimo debido a que cuentan con otros proyectos de transporte más útiles para conectarse con ciudades vecinas.

### **3.2.3. Cohesión territorial**

Además de los efectos de desbordamiento, la cohesión territorial tiene una relación estrecha con el estudio de Accesibilidad. Como ya se había mencionado en la sección de Accesibilidad, esta puede ser analizada desde dos perspectivas: espacial y social. En el caso de la accesibilidad social, el análisis se lleva a cabo respecto a las comunidades o grupos sociales. Para conocer los efectos de la inversión en infraestructura a partir de medida de accesibilidad se debe introducir los conceptos de cohesión territorial y equidad social (Ortega et al., 2014).

En términos generales, la cohesión territorial o los efectos de cohesión se refieren a los impactos de la aplicación de una política pública de inversión sobre variables que caractericen una región. La cohesión territorial es una medida de distribución de la

accesibilidad, analizando el grado de dispersión de la distribución espacial de la accesibilidad (Ortega et al., 2014), donde generalmente se calculan los efectos sobre la productividad por medio del cambio del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita (López, 2008). Adicionalmente, la cohesión territorial representa uno de los elementos más importantes para el bienestar de una región. Una región que presenta cohesión territorial, es sinónimo de desarrollo económico y valores favorables de accesibilidad. Una deficiencia en la accesibilidad y cohesión territorial de una región es un obstáculo para el crecimiento de su economía.

El concepto de cohesión territorial, está relacionado también con los efectos de desbordamiento espaciales. Los efectos de desbordamiento espaciales son el principal vehículo de las políticas de cohesión territorial en Planes Maestros de Transporte debido a que las mejoras en la accesibilidad de una región, puede ser consecuencia de una inversión en transporte realizada en otra (Condeço-Melhorado et al., 2011). En ese orden de ideas, se espera que la inversión en infraestructura vial represente un mejoramiento en la cohesión territorial de la región donde se realice directamente la inversión o en regiones cercanas.

Adicionalmente, la cohesión territorial aporta significativamente en el trazado de políticas públicas de inversión. Por ejemplo La Unión Europea en su Política de Desarrollo Regional, canaliza sus ayudas a las regiones más atrasadas con el fin de impulsar el desarrollo regional y la cohesión territorial (Vasallo & Izquierdo, 2010), esta iniciativa hace parte generalmente de las políticas Europeas para el mejoramiento de los sistemas de transporte (Gavanas & Pavlidou, 2011).

Para el caso colombiano y específicamente para el plan de inversión de las vías 4G, se espera que la realización de las obras de infraestructura tenga un impacto directo en los indicadores de accesibilidad, cohesión territorial y desarrollo regional. Es importante cuantificar por medio de un análisis comparativo entre la situación actual y la puesta en marcha de nuevos proyectos viales, cómo los territorios adquieren una nueva configuración que aporte al desarrollo económico de su región y otras teniendo en cuenta efectos de desbordamiento asociados al desarrollo de infraestructura para el transporte de mercancías por carretera.

A continuación, se presentan dos casos de estudio de accesibilidad y cohesión territorial en España. Inicialmente, con un enfoque conceptual donde se identifica la importancia del cálculo de accesibilidad y cohesión territorial para la cuantificación de beneficios del mejoramiento o inversión en infraestructura; en segundo lugar, se presenta un enfoque matemático de indicadores de accesibilidad, cohesión e índices de cambio entre un escenario base y futuro.

Ambos casos de estudio, resaltan la importancia de calcular índices de accesibilidad y cohesión territorial en la planeación de sistemas de transporte y realización de políticas públicas en miras a mejorar las condiciones económicas, sociales y de mercado de las regiones.

### **3.2.3.1. Medición de accesibilidad y cohesión territorial: casos de estudio.**

#### **Primer caso de estudio: Medición de efectos de cohesión territorial para un nuevo proyecto de infraestructura en España.**

Fuente, artículo: Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investments: an accessibility approach. López Elena, Gutiérrez y Gómez, 2008.

##### *Contexto general*

El estudio sugiere un acercamiento a la medición de los cambios en la distribución de la accesibilidad por medio del uso de mapas y sistemas de Información Geográfica SIG. Teniendo como referencia el cálculo de estos índices y su comparación en un escenario base y futuro, se puede cuantificar entonces el aumento o reducción de la accesibilidad regional relacionada con la implementación de una nueva infraestructura de transporte.

La inversión en infraestructura analizada incluye redes de carreteras y ferrocarriles desarrolladas en el periodo comprendido entre 1992 y 2004 en España. En el periodo de desarrollo de infraestructura en estudio, la extensión de carreteras pasó de 6.000 Km a 9.000 Km; y la red ferroviaria, de 450 Km a 930 Km.

La cohesión, es una de las principales políticas de la Unión Europea UE, tenida en cuenta en miras de alcanzar el fomento de cohesión económica y social. Adicionalmente, se considera que, por medio de la inversión en infraestructura, se puede aportar significativamente en las metas de cohesión en los diferentes campos. Lo anterior, es considerado igualmente una política de Gobierno en países como España, donde la inversión en infraestructura representa una herramienta esencial para lograr condiciones de cohesión territorial.

##### *Metodología*

Inicialmente, se realiza una revisión de literatura relacionada con temas de impacto en cohesión y accesibilidad relacionado con proyectos de inversión en infraestructura. Posteriormente, se especifican índices de cálculo de accesibilidad normalmente utilizados y ecuaciones para analizar su variación espacial, lo cual será el insumo principal para el cálculo de cohesión territorial.

En general, los diferentes índices de accesibilidad y cohesión varían en función al parámetro tenido en cuenta para su cálculo como: tiempo de viaje y población, tiempo y distancia euclidiana entre orígenes y destinos. En el caso de estudio, se analizaron cinco indicadores diferentes con el fin de concluir si existía algún tipo de variable con influencia en los resultados de cohesión territorial o si estos guardaban un comportamiento similar.

Una vez calculados todos los índices de accesibilidad y cohesión territorial, se realiza una comparación final entre escenarios para obtener una medida de cambios de accesibilidad y cohesión territorial teniendo en cuenta el desarrollo en la red vial y ferroviaria.

### *Resultados y reflexiones finales*

La conclusión final del documento, resalta que los efectos de cohesión para la red vial y férrea presentan comportamientos distintos. Para el primer caso, los efectos se presentaron de manera equitativa; pero para el caso de la red férrea, sus efectos se presentan de manera polarizada. Lo anterior, debido a que el desarrollo de la red férrea tiende a mejorar la posición relativa de las grandes aglomeraciones urbanas, las cuales presentan de entrada una accesibilidad promedio que mejora aún más con la inversión, polarizando así el efecto final del plan de mejoramiento desde el año 1992 al 2004.

Finalmente, la comparación de resultados de la investigación por diferentes métodos en función de los índices de accesibilidad y sus variables, advierten que en el cálculo de cohesión puede ser sesgado. Teniendo en cuenta lo anterior, resaltan que incluso los resultados pueden llegar a ser opuestos dependiendo del índice evaluado.

En ese orden de ideas, se recomienda el cálculo de un grupo de indicadores para poder identificar este tipo de comportamiento y llegar a la escogencia del mayor índice que describa las condiciones de cohesión y accesibilidad.

En términos generales, se espera que con el mejoramiento de infraestructura se mejore igualmente en términos de cohesión territorial y accesibilidad en menor o mayor grado.

## Segundo caso de estudio: Impactos sobre la cohesión territorial debido a un sistema de tren de alta velocidad en Galicia-España.

Fuente, artículo: Territorial cohesion impacts of high-speed rail under different zoning systems. Ortega, López y Monzón, 2008.

### *Contexto general*

La investigación, analiza el desarrollo de un proyecto de transporte de alta velocidad en función de los cambios en cohesión territorial producto de la inversión en infraestructura. Lo anterior, se aplica al caso de estudio de una red ferroviaria en la ciudad de Galicia-España de 670 Km de longitud y 220 Km/h. Este corredor hace parte del plan estratégico de transporte e infraestructura de país para el periodo comprendido entre el año 2005 y 2020.

### *Metodología*

Inicialmente, se considera para el análisis de cohesión cinco zonas diferentes, función del método de representación gráfica, vector o ráster; y su nivel de detalle en términos de precisión cartográfica. Estos factores serán representativos, teniendo en cuenta que la modelación de la red y el análisis de accesibilidad se realizará mediante un sistema de información geográfica SIG, que emplea como base de su funcionamiento el tipo de representación gráfica de objetos<sup>7</sup>.

Una vez definido el tipo de representación gráfica, se calcula por medio del SIG la accesibilidad producto de la nueva infraestructura; y posteriormente, el impacto sobre la cohesión territorial en las diferentes zonas modeladas.

Para el cálculo de accesibilidad, se considera la accesibilidad potencial, definida de la siguiente manera:

$$\text{Accesibilidad Potencial} = PA_i^* = \sum_j \frac{P_j}{I_{ij}}, \quad (4)$$

---

<sup>7</sup> En sistemas de información geográfica, los elementos pueden representarse de dos maneras: con formato ráster o vectorial. En el primer caso, se divide el espacio en un conjunto regular de celdas, cada una de ellas tendrá asociado un conjunto de información o propiedades específicas. En el caso de representación de tipo vectorial, los diferentes objetos se representan mediante puntos, líneas y polígonos. Teniendo en cuenta lo anterior, en un análisis de tipo espacial, donde las características topológicas adquieren importancia, se espera que los resultados sean sensibles al formato de representación gráfica seleccionado para tal fin.

Donde:

$P_j$ : Representa la población de la zona de destino del corredor analizado.

$I_{ij}$ : Representa la Impedancia de la actividad del transporte dada por el tiempo de viaje desde el origen  $i$  hasta el destino  $j$ .

Para el cálculo de cohesión territorial, se considera el índice de dispersión de accesibilidad potencial, definido a continuación:

$$\text{Índice de dispersión de accesibilidad espacial} = \text{PAD} \quad (5)$$

$$\text{PAD}_z = \frac{\sigma^P}{\frac{\sum PA_i * P_i}{\sum P_i}}, \quad (5)$$

Donde:

$\text{PAD}_z$ : Es el índice de dispersión de accesibilidad espacial para la zona  $z$ .

$\sigma^P$ : Es la desviación estándar de la accesibilidad potencial.

$PA_i$ : Es la Accesibilidad Potencial

$P_i$ : Es la Población de la zona de destino del corredor analizado.

Posteriormente, se calcula la diferencia de índices de accesibilidad potencial como criterio de comparación entre escenarios base y futuro según la siguiente expresión:

$$TC_z^{s-0} = \frac{\text{PAD}_z^0 - \text{PAD}_z^s}{\text{PAD}_z^0} * 100, \quad (6)$$

Donde:

$TC_z^{s-0}$ : Es el índice de cohesión territorial para la zona  $z$  entre el escenario base 0 y el futuro  $s$ .

Un valor positivo en la anterior expresión, significa un aumento en la cohesión territorial. Un valor negativo, significa una disminución de la cohesión territorial, que a su vez es signo de polarización de la accesibilidad.

### *Resultados y reflexiones finales*

Inicialmente, la investigación muestra diferencias respecto a los métodos de representación gráfica de objetos en el sistema de información geográfica. El método de vectores produce un valor de accesibilidad media mayor y más polarizado que el método tipo ráster. El estudio concluye de manera contundente que los resultados de análisis tipo espaciales, varían considerablemente de acuerdo a la definición de sus unidades, en este caso respecto al método gráfico para la utilización del SIG.

Respecto al método de investigación, los autores concluyen que es válida su aplicación para proyectos en fase de planeación y operación. Independiente del tipo de proyecto, los resultados serán función de parámetros técnicos tenidos en cuenta en su modelación como: distribución poblacional en las diferentes zonas de análisis, ubicación de los proyectos, y la calidad de acceso a los sistemas de transporte.

Teniendo en cuenta lo anterior bajo las condiciones de cambios probables en los valores de cohesión territorial, se recomienda realizar un análisis de sensibilidad para cualquier fase del proyecto en estudio.

Finalmente, y en función de la fase del proyecto, los hacedores de políticas públicas tendrán la capacidad de formular estrategias con el objetivo de minimizar las condiciones de polarización de accesibilidad y cohesión territorial.

### **3.3. Costos de Transporte de mercancías**

En la sección anterior, fue descrito el concepto de Accesibilidad, Funciones de Impedancia, Efectos de desbordamiento y Cohesión territorial. En esta sección, serán descritos los Costos de Transporte de mercancías. Este costo puede tener un enfoque como función de impedancia o como medio de descripción de los impactos de la inversión en infraestructura.

El estudio de los costos de transporte de mercancías es un elemento significativo en la planeación y entendimiento del transporte, donde variables de tiempo, espacio, propósito de los viajes, modo de transporte y tipo de producto transportado son tenidos en cuenta (Zergas & Litman, 1997). En general, los costos de transporte se pueden agrupar en tres categorías: costos relacionados con los vehículos, con el tiempo y la distancia o espacio entre origen y destino (Betancor, Carmona, Macário, & Nash, 2005).

En nuestro caso de estudio de las vías 4G, los costos de transporte serán descritos según la categoría de tiempo y distancia, este tipo de función será descrita en una sección siguiente. También, podemos establecer otro conjunto de variables de mercado que ayudan a comprender mejor el concepto de Costos de Transporte de mercancías como: geografía, infraestructura, facilidades de comercio, tecnología, precio de combustibles, entre otros (Behar & Venables, 2010).

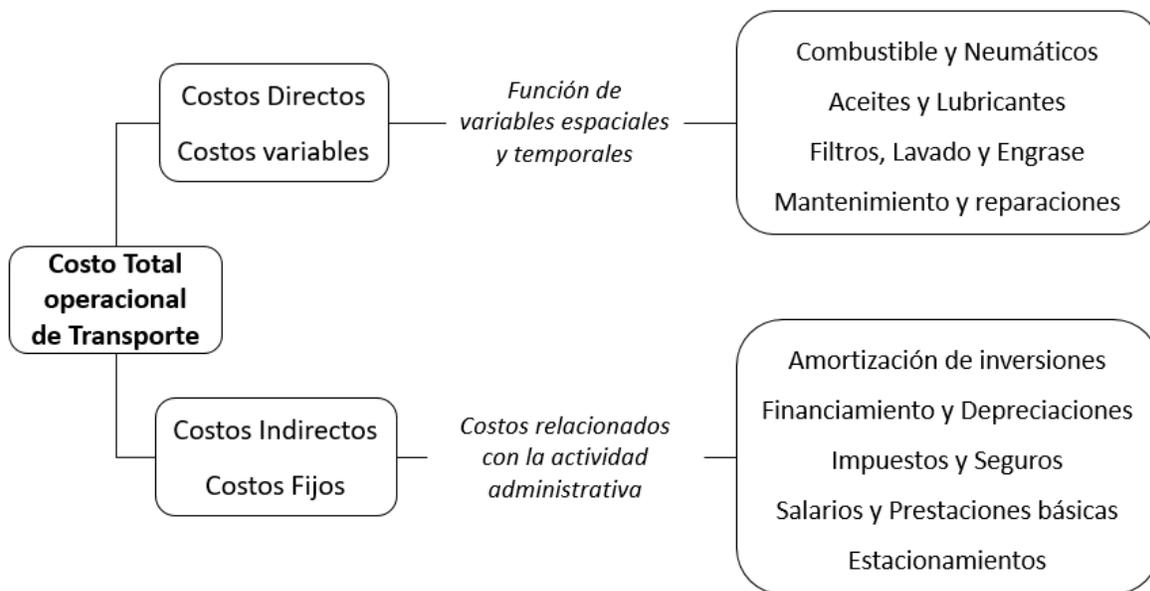
De este conjunto de variables, la inversión en infraestructura tiene un papel significativo en la reducción de los costos de transporte (Condeço, Maroto, Zofio, & Guitiérrez, 2011). Las vías 4G, son el conjunto de proyectos viales con mayor inversión en la historia de Colombia, por medio de esta inversión se espera que los costos de transporte

entre puntos de producción y consumo disminuyan, y que en general las variables de mercado relacionadas con la actividad del transporte presenten un mejor comportamiento.

En nuestro caso de estudio y en función del conjunto de variables mencionadas anteriormente, definiremos Costos de Transporte de mercancías como el tipo de costo que relaciona variables físicas, temporales y de mercado, con el objetivo de cuantificar el esfuerzo de transportar bienes entre dos puntos origen y destino a través de una infraestructura de transporte con características técnicas determinadas. A continuación, serán descritos los elementos de la función de Costo de Transporte.

### 3.3.1. Elementos de la función de Costo de Transporte

En general, la función de costos de transporte se divide en costos directos e indirectos. La suma de costos directos e indirectos es igual al costo total operacional de transporte. Los costos directos o costos variables, son a su vez función de variables temporales y espaciales. Los costos indirectos o costos fijos, son función de actividades administrativas, pago de impuestos, seguros y depreciaciones (Miller, Robinson, & Lahr, 1999; Quinet & Vickerman, 2004). En la siguiente figura se describe el costo total operacional a partir de los costos directos e indirectos, teniendo en cuenta cada una de las variables que los compone:



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 14** División del costo total operacional de transporte

De esta manera, si la actividad de transporte está relacionada con factores o variables de costos fijos o variables con un precio determinado, la función general de costo total operacional de transporte se puede expresar como (Quinet & Vickerman, 2004):

$$C = C(q, p_x, p_y, \dots, p_i), \quad (7)$$

Donde:

$C$ : Función de costo de transporte

$q$ : Actividad económica relacionada al transporte.

$p_x, p_y, \dots, p_i$ : Costos de las actividades que componen el costo total operacional.

Para el caso de estudio y teniendo en cuenta la descripción de funciones de impedancia mencionadas en la sección de “Accesibilidad”, se aplicará como función de Costo Total operacional de Transporte una función  $CGT$ . La Función de Costo Generalizado de Transporte, no tiene en cuenta componentes costos sociales o ambientales como contaminación, seguridad, confort, entre otros (Combes & Lafourcade, 2005). En general, la función contempla costos directos e indirectos asociados al transporte cada uno de ellos expresado teniendo en cuenta la distancia o tiempo de viaje entre dos ubicaciones determinadas. A continuación, se presenta una descripción de variables y la función de costos entre puntos origen y destino o centros de producción y consumo. Esta expresión será la base del análisis comparativo de los costos de transporte de mercancías en Colombia entre una situación actual de infraestructura y el escenario futuro con la puesta en servicio de los proyectos viales de 4G.

### **3.3.2. Costos entre centros de producción y consumo**

Los costos entre puntos de producción y consumo se pueden expresar mediante una función que combine variables temporales y espaciales (véase expresión 7). Específicamente, en el caso de las variables temporales se hará referencia a los costos directos fijos, estos son: amortización de la inversión de la unidad tractora y de carga, financiamiento de inversiones relacionadas con el vehículo, salario y subsidios del conductor, costo de seguros y pólizas, costos fiscales asociados a contratación del empleado; mientras que en el caso de los costos variables, hará parte de la función: consumo de combustible, costo del cambio de neumáticos, mantenimiento y reparaciones del vehículo, entre otros.

A partir de esta función y conjunto de variables, será descrito el costo del transporte de mercancías desde un punto de origen y hasta un destino específico a través de una función de costo generalizado de transporte  $CGT$ . Una vez se obtenga el valor del costo generalizado de transporte entre los diferentes pares origen – destino, se podrá caracterizar el costo de cualquier ruta de importancia en el transporte de mercancías en Colombia. A

continuación se presenta la expresión de  $CGT$  de transporte entre puntos de producción y consumo que será aplicada para el caso de estudio de las vías 4G:

$$CGT_{OD}^M = \sum_{i=1}^n Q_t * T_{ij} + K_l * L_{ij}, \quad (8)$$

Donde:

$CGT_{OD}^M$ : es el costo total operacional de transporte desde un punto origen ( $O$ ) hasta un punto destino ( $D$ ) para un modo de transporte ( $M$ ) determinado. Para el caso de estudio, el modo de transporte será un Tracto camión tipo S3<sup>8</sup>.

$i$ : número de enlaces que componen cada ruta origen-destino.

$Q_t$ : son los costos operativos función del tiempo de viaje origen-destino.

$T_{ij}$ : es el tiempo de viaje desde  $i$  hasta  $j$ .

$K_l$ : son variables relacionadas con costos variables espaciales.

$L_{ij}$ : distancia recorrida desde  $i$  hasta  $j$ .

En la anterior expresión, para un par origen y destino puede cuantificarse el costo de la actividad de transporte. Los cambios en la infraestructura, tendrán un efecto directo sobre los componentes espaciales y/o temporales de la función de costos. Finalmente, teniendo en cuenta la expresión de la función como sumatoria, se puede considerar casos de vías compuestas por varios tramos intermedios de carretera, a los cuales podemos calcular igualmente el costo de transporte. Su sumatoria será entonces el costo total operacional de transporte entre la ubicación origen y destino.

De acuerdo con lo anterior, resulta importante analizar los beneficios e impacto de los proyectos de 4G, en el transporte de mercancías por carretera en Colombia. La definición, descripción, modelación y cuantificación del comportamiento entre variables del transporte, especificará el beneficio o impacto de este conjunto de proyectos, en la dinámica comercial del país y transporte interurbano. De esta manera, es objeto de los siguientes capítulos donde se aplicarán los conceptos de accesibilidad y costos de transporte al análisis de escenarios entre la situación actual de la infraestructura en Colombia y la puesta en marcha de los proyectos de concesiones 4G.

A continuación, se presentan tres casos de estudio para el cálculo de costos de transporte en un conjunto de países en África, Francia y Holanda. En general, cada caso de estudio responde a un plan de desarrollo planteado por los respectivos gobiernos. Lo anterior, responde a la necesidad de plantear estrategias para fortalecer el comercio y el

---

<sup>8</sup> El Tractocamión tipo S3 está compuesto por tres ejes en su unidad tractora. Es el vehículo de transporte de carga más común en Colombia.

entorno económico de las regiones. En un primer caso, se analizan los componentes de costos fijos y variables que influyen en el cálculo del costo operacional de transporte.

Posteriormente, en un estudio para la red vial en Francia, son establecidos los parámetros más significativos para la organización institucional y el planteamiento de políticas públicas en función de los costos de transporte de mercancías en la red nacional. Lo anterior, estableciendo un conjunto de criterios y efectos relacionados con el cálculo de costos de transporte.

Finalmente, para un conjunto de corredores que cubre Holanda, parte de Alemania y Bélgica. Para este último caso, se establece como el movimiento eficiente de personas, bienes e información son aspectos clave en la competitividad de los países, lo cual no solamente tiene un efecto local, sino que se expande a ciertas zonas de influencia de los proyectos.

### **3.3.3. Costos de los usuarios que transitan por carreteras: Casos de estudio.**

#### **Primer caso de estudio: Precios y costos de transporte en África.**

Fuente, artículo: Precios y costos de transporte en África: Una revisión de los principales corredores Internacionales. Teravaninthorn y Raballand, 2009.

#### *Contexto general*

Este estudio hace parte del diagnóstico nacional de Infraestructura en África en el marco de identificación y análisis de factores determinantes en los altos precios de transporte en la red vial del continente. Su objetivo principal, es proporcionar elementos para la toma de decisiones de futuras inversiones en materia de infraestructura basado en un registro de información económica y de tipo técnico. El estudio de desarrolló en una primera fase para 24 países que representan aproximadamente el 85% del producto interno bruto de la región. Lo anterior, respaldado en la hipótesis de estudios anteriores que establece una relación directa entre el costo de transporte de mercancías y el crecimiento económico de las regiones.

#### *Metodología*

El análisis de costos de transporte de mercancía es realizado para cuatro corredores. Estos corredores son considerados importantes en el marco de comercio internacional de la región teniendo en cuenta su influencia en los sectores económicos de energía, comunicación, información y prestación de servicios en general.

En general, el estudio se compone de tres fases. La primera está relacionada con la recopilación de información de las carreteras por medio de encuestas. Las encuestas fueron realizadas a 20 compañías transportadoras y aproximadamente 60 dueños de vehículos de transporte de carga en 7 países.

La segunda fase, estuvo basada en validar los resultados de las encuestas y buscar políticas relacionadas que ayuden a la disminución de costos de transporte. Finalmente, en la tercera fase, fueron cuantificadas cada una de las variables del estudio de costos de transporte y socializadas en un taller de discusión donde se presentaba como resultado final un conjunto de políticas públicas de transporte para cada una de las regiones que guardaban una relación directa con el conjunto de corredores en estudio.

En la fase número dos de cuantificación de variables, la estimación de costos de transporte tuvo en cuenta una serie de factores organizados en tres categorías. La primera de ellas, relacionada con la infraestructura: calidad de la vía y cobertura; posteriormente, factores relacionados directamente con la actividad del transporte como: costo de combustibles, salarios y repuestos; y finalmente, elementos relacionados con el mercado: procedimientos de comercio de mercancía, regulaciones de las compañías de transporte y otras reglamentaciones.

### *Resultados y reflexiones finales*

En África, los costos de transporte variables tienen más influencia en el costo total de transporte que los costos fijos. Como resultado del estudio, la región Oeste presenta una relación 70/30 y la región Este 60/40.

Respecto a los factores que componen de cada tipo de costo, el precio de los neumáticos, combustibles y lubricantes aportan la mayor parte del total de costos variables de la actividad del transporte. Los combustibles y lubricantes representan por lo menos un 40% del total de los costos operacionales.

Otros elementos significativos en la estimación de costos de transporte son: depreciaciones y seguros, peajes, costos logísticos y administrativos. En la siguiente tabla, se presenta para los países de Francia, Chad y Kenia, los componentes del costo variable total de transporte en una relación porcentual.

**Tabla 10** Composición de costos variables de transporte

Costo	País		
	Francia	Chad	Kenia
Combustible	25	50	21
Neumáticos y mantenimiento	9	22	10
Depreciaciones y seguros	12	8	24
Peajes	5	11	1
Logísticos	35	6	19
Administrativos	14	3	25
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fuente: Transport prices and costs in Africa: A review of the main international corridors (2009)

En primer lugar, se identifica que la condición inadecuada de las carreteras guarda una relación directa con el costo de transporte teniendo en cuenta que: reduce la eficiencia del combustible, produce daños en los vehículos, conlleva a altos costos operaciones, reduce la vida útil de los neumáticos y aumenta los tiempos de transporte. Sin embargo, aunque es determinante, la condición de la carretera en algunos casos no es un factor crítico en el análisis de costos de transporte. En contraste, la edad de los vehículos, los fletes y la baja utilización de la flota tiene una influencia importante en el comportamiento del costo total de transporte.

Finalmente, se plantea como recomendación especial un fortalecimiento institucional alrededor de la actividad del transporte. Sin un adecuado acompañamiento por medio de regulaciones y normativas, los costos de transporte seguirán aumentando, el préstamo de servicios asociados no mejorará y los demás usuarios de las carreteras no serán beneficiados de la rehabilitación o inversión en infraestructura.

### **Segundo caso de estudio: Costos de transporte y políticas regionales en Francia.**

Fuente, artículo: Costos de transporte: medidas, determinantes, e implicaciones de políticas regionales en Francia. Combes y Lafourcade, 2005.

#### *Contexto general*

El estudio desarrolla una metodología para el cálculo de costos de transporte para una red vial en Francia. El objetivo principal de la investigación es encontrar el costo de transporte de mercancía para un camión a través de la ruta óptima entre un par origen-destino. Lo anterior, teniendo en cuenta características técnicas de la infraestructura vial, tipos de vehículos de carga, uso de combustibles, gastos administrativos, salarios, impuestos, mantenimiento, entre otros. Las variables anteriores, se desarrollan en un contexto de geografía económica y planeación, comercio internacional y planteamiento de políticas públicas.

El desarrollo de la investigación tiene como base un conjunto de criterios y efectos presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 11** Criterios y efectos para la estimación de costos de transporte

<b>Criterio</b>	<b>Efecto</b>
La cuantificación del costo de transporte depende de la ubicación del par origen y destino de los viajes.	Efecto espacial: El costo de transporte puede depender de la distancia origen-destino. Efecto temporal: El costo de transporte puede depender del tiempo de viaje origen-destino.
La cuantificación del costo de transporte depende del modo utilizado, lo cual tiene en cuenta la interacción entre infraestructura- vehículo y sus elementos.	El costo de transporte puede depender del costo de la energía utilizada. La interacción infraestructura-vehículo, genera costos operacionales donde se identifican elementos como: salarios, impuestos y dinámica del mercado.
El costo de transporte de commodities depende del volumen transportado.	El costo de transporte puede influenciar el costo de commodities. Este puede variar en función de la zona, tiempo de viaje y políticas públicas relacionadas con el comercio, impuestos y otro tipo de gastos asociados.
El impacto de cada componente del costo de transporte puede ser recuperado.	No registra.

Fuente: Transport costs: measures, determinants, and regional policy implications for France. Combes y Lafourcade (2005)

### *Metodología*

La metodología se realiza mediante el análisis de la red vial en función de variables temporales y espaciales como: condiciones de tráfico, tecnología de transporte, configuración de la industria del transporte y el contexto general del mercado.

Como herramienta principal de manejo de datos se configuró una base georreferenciada de la red con el trazado de cada carretera entre centroides o zonas de importancia económica en la región. El conjunto de atributos modelados se estableció en un trabajo conjunto con el Ministerio de Transporte en dos grupos principales: variables temporales y espaciales.

En el grupo de variables temporales se encuentran: salarios, viáticos, seguros, depreciaciones e impuestos; y en el conjunto de variables espaciales: consumo de combustibles, peajes, mantenimiento y costo de neumáticos. Finalmente, la relación matemática para la interacción de variables fue una ecuación de Costo Generalizado de Transporte CGT. La función CGT es una combinación lineal de variables función del tiempo de viaje y la distancia entre un par origen-destino respectivamente.

## *Resultados y reflexiones finales*

El desarrollo de la investigación muestra que la tecnología de transporte y la estructura del mercado son los elementos más determinantes en la disminución de los costos de transporte por carretera con un peso del 21,8% y 10,9% respectivamente. Adicionalmente, se reconoce el costo de combustibles como un elemento a considerar, pero con un peso menor respecto a las condiciones tecnológicas y de mercado ya nombradas.

También, se identifica la cuantificación de Costo Generalizado del Transporte como una herramienta importante en el entendimiento del precio de commodities. Lo anterior, respaldado por estudios anteriores de Hummels y Skiba en el año 2003.

Finalmente, se menciona la importancia de cuantificar los cambios en el costo de transporte en el planteamiento de políticas públicas en materia de infraestructura. Normalmente, el mejoramiento de la red vial de una región es visto como generador de beneficios a largo plazo. Teniendo en cuenta lo anterior, se resalta la inversión y el desarrollo de carreteras de la Red Trans-europea conocida como Trans-European Road Network durante el periodo 1994 a 1999, con impactos positivos en términos de desarrollo en la región.

### **Tercer caso de estudio: Efectos distributivos de nueva infraestructura de autopista en Holanda.**

Fuente, artículo: Distributive effects of new highway infrastructure in the Netherlands: the role of network effects and spatial spillovers. Condeço-Melhorado, 2014.

#### *Contexto general*

En Holanda, el Gobierno nacional juega un papel muy importante en la planeación del desarrollo en materia vial en cooperación con instituciones de orden privado y público. En este contexto, se planea la inversión para la construcción de dos autopistas en la región de Eindhoven en Holanda. El estudio está centrado en el análisis del impacto de dicha inversión en función de tiempos de viaje, ganancias económicas relacionadas y efectos de desbordamiento Spillover effects.

#### *Metodología*

Inicialmente, fue necesario conformar una base de datos digital con la ubicación y características técnicas de las principales rutas origen-destino para la red vial a analizar. El modelo, tuvo en cuenta un total de 48.073 arcos que cubren Holanda, parte de Alemania y Bélgica. Para el caso de la zona de estudio de efectos de desbordamiento, la configuración geográfica de la red se realizó a un mayor detalle que para el resto del área modelada.

La información asignada a los arcos por medio de atributos incluyó aspectos técnicos como: tipo de carretera, velocidad a flujo libre, capacidades y cargas. Una vez conformado el conjunto de variables para cada tramo vial se calculó el costo de transporte, tiempo de viaje, impacto en la movilidad y los efectos distributivos del desarrollo de los proyectos comparando un escenario base sin tener en cuenta la inversión y uno futuro teniendo en cuenta las nuevas carreteras.

### *Resultados y reflexiones finales*

Como resultado del estudio, se identifica que la mejora en infraestructura del transporte es crucial en el marco de una economía globalizada, donde el movimiento de personas, bienes e información son aspectos clave en la competitividad de los países. En ese orden de ideas, la construcción o mejoramiento de la infraestructura de transporte disminuye efectivamente la distancia entre dos ubicaciones a través de una reducción en los tiempos de viaje.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que la inversión en infraestructura implica que las personas pueden movilizarse más rápidamente y de manera eficiente, usando menores recursos económicos, lo cual a su vez incrementa el flujo de personas, bienes y servicios.

Finalmente, son identificados dos efectos significativos del mejoramiento de la red vial por medio de la construcción de los dos proyectos nuevos en estudio. El primer efecto es la disminución de tiempos de viaje directamente en la zona de desarrollo de los proyectos; y en segundo lugar, la generación de efectos de desbordamiento en la terminación de los proyectos.

Teniendo en cuenta lo anterior, no solo existe beneficio para la región directamente relacionada sino también para las zonas a cierta distancia de los proyectos, sin embargo, existen sitios que no presentan mayor beneficio dado a que poseen otras alternativas de infraestructura de transporte y la inversión en estos nuevos proyectos no son del todo significativos.

### **3.4. Discusión**

La creación de políticas públicas es una de las funciones más importantes de un gobierno en la búsqueda de desarrollo económico, beneficio social y dinamismo del comercio exterior. La construcción y mejoramiento de infraestructura debe ser uno de los pilares en la estructuración de planes de Gobierno y fortalecimiento de las instituciones del estado. Basados en la experiencia de países africanos, Francia y Holanda plasmada en textos científicos, podemos identificar como las condiciones adecuadas de la red vial de un

país facilita el crecimiento económico, industrial, la dinámica del transporte y comercio de mercancías, y el beneficio social traducido en términos de ahorro en los tiempos y costos de transporte, entre otros.

Teniendo en cuenta lo anterior, es relevante comprender que la política, la sociedad, la economía y la inversión en infraestructura guardan una relación de sinergia donde el trabajo interdisciplinar e interinstitucional son protagonistas. Las comunidades, el mercado, la Industria, el acceso a bienes y servicios, entre otros, serán elementos significativos de impacto positivo en el contexto de inversión y crecimiento económico.

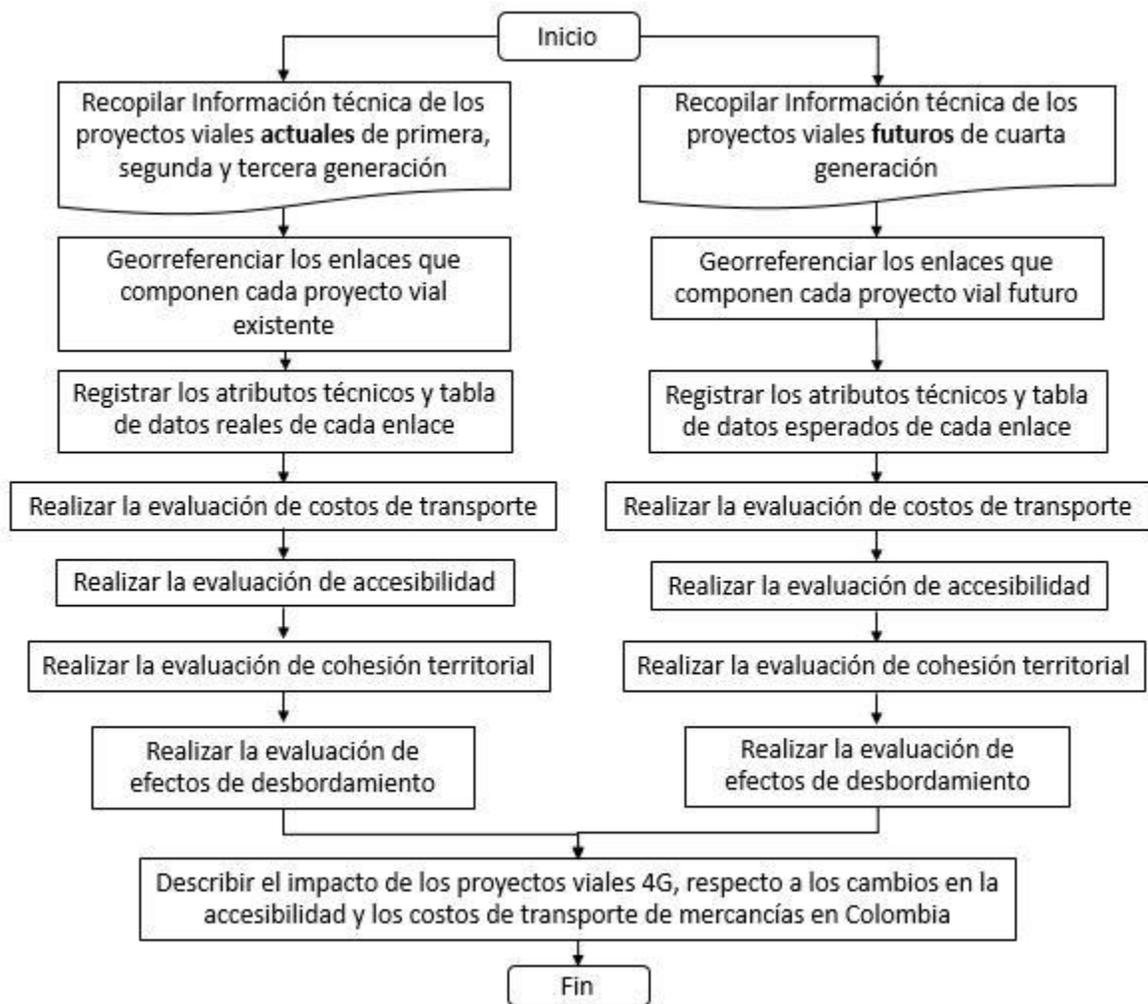
Sin embargo, este esfuerzo intersectorial no puede ser enfatizado solamente en la construcción de infraestructura de tipo carretero. Teniendo en cuenta el caso de estudio realizado por Condeço-Melhorado, la obtención de competitividad involucra áreas externas a las asignadas para el desarrollo de las obras y adicionalmente este proceso de modernización o creación de nuevos corredores es un paso en el mejoramiento de la cadena logística de una región o país.

En este orden de ideas, la creación de políticas públicas como una estrategia de alcance de competitividad en Colombia, debe enfatizarse de manera transversal mediante un plan maestro de competitividad. Este plan debe desarrollarse en un marco logístico y de mercado interno y externo, donde la inversión en infraestructura se convierta en un medio para lograr posicionar a Colombia en la región latinoamericana y como un paso llamativo para el comercio exterior.

Finalmente, podemos mencionar que, bajo el esquema de inversión en la red vial nacional a partir del programa de 4G, se consolida un primer paso en el fortalecimiento del contexto actual de dinámica logística, comercial y en la creación de nuevas facilidades para el comercio mediante el transporte de mercancías, personas, bienes y servicios. El programa de 4G, respaldado por los resultados de proyectos similares en otros países, aportará significativamente en materia de competitividad, desarrollo y fortalecimiento económico en Colombia.

#### 4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CAMBIOS DE ACCESIBILIDAD, COSTOS, COHESIÓN TERRITORIAL Y EFECTOS DE DESBORDAMIENTO EN LOS PROGRAMAS DE CONCESIONES VIALES EN COLOMBIA

En la Figura 7, se presenta el proceso de investigación para cuantificar el impacto de los proyectos viales de 4G en la accesibilidad y en los costos de transporte de mercancías en Colombia.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 15** Metodología de Investigación

A continuación, se presenta la descripción de los componentes del flujograma del proceso de investigación:

#### **4.1. Recopilación de información técnica**

**Incluye la recopilación de información técnica de los proyectos viales actuales de primera, segunda y tercera generación; e información técnica futura de los proyectos viales de 4G:** este primer proceso es considerado la entrada principal del método de investigación donde se agrupa toda la información técnica de los proyectos existentes que componen desde la primera hasta la cuarta generación de concesiones viales, y la información técnica que conformará el escenario futuro con el conjunto de proyectos de 4G en Colombia. Esta información considerada como los atributos de la Infraestructura proviene de documentos técnicos del Ministerio de Transporte, la Agencia Nacional de Infraestructura, Documentos Conpes o portales web oficiales de las concesiones viales que incluye: descripción general del alcance de los proyectos, origen, destino, departamento donde se encuentra la vía, longitud total origen-destino, número de carriles por sentido, generación, fase<sup>9</sup>, nombre de la concesión encargada del proyecto, velocidad de diseño, porcentaje de pendiente longitudinal, tipo de terreno y tipo de pavimento.

#### **4.2. Georreferenciación y conformación de la base de datos**

**Incluye la georreferenciación de los enlaces que componen cada proyecto vial existente y futuro:** En segundo lugar, se hace un registro de los proyectos viales de cada generación en un Sistema de Información Geográfica (SIG). De esta manera, como entregable de esta segunda fase, se tiene un inventario total georreferenciado de la red vial actual y futura de Colombia, teniendo en cuenta los proyectos de 4G. Se utiliza como mapa base para realizar el trazado de cada proyecto, los mapas de carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) del año 2014.

#### **4.3. Registro de atributos e información técnica**

**Este proceso tiene en cuenta el registro de los atributos técnicos y tabla de datos de cada enlace:** este tercer proceso relaciona el conjunto de atributos reales y esperados de los proyectos viales y la Georreferenciación de los enlaces que componen cada carretera en un sistema SIG. Para cada enlace que compone un proyecto vial actual y futuro se registra su información técnica por medio de una tabla de datos compuesta por

---

<sup>9</sup> En el caso de las vías 4G, se registra la fase a la cual corresponde.

atributos en el SIG. Como entregable de esta fase, se tiene la red vial de Colombia incluyendo los corredores 4G georreferenciados, teniendo en cuenta las características técnicas que darán paso a la aplicación de funciones matemáticas para cuantificar el costo de transporte de mercancías en un escenario comparativo entre la situación actual y futura de la red vial.

#### 4.4. Evaluación de Accesibilidad

**Como una medida complementaria a la cuantificación de costos de transporte se realizará una evaluación de accesibilidad:** será analizado desde un punto de vista relativo, integral y global como una función que relaciona el tiempo de viaje entre pares origen y destino. El tiempo de viaje, de acuerdo al proceso de revisión del estado del arte, tiene un impacto directo en la facilidad de acceder a bienes, servicios, empleos y otro tipo de oportunidades por parte de la comunidad.

#### 4.5. Evaluación de Costos de transporte

**En esta fase metodológica se evalúan el costo de transporte para el conjunto de proyectos viales de la red nacional:** el objetivo de este paso es cuantificar el costo de transporte de mercancía entre un punto origen y destino para cada proyecto vial que compone la red de transporte de Colombia actual y futura con la puesta en marcha de los proyectos de 4G. Para cada enlace que compone una determinada ruta se evalúa una función de Costo Generalizado de Transporte (*CGT*), esta función está compuesta por una combinación lineal de variables temporales y espaciales que permite describir el costo total operacional de la actividad de transporte, la cual no tiene en cuenta costos relacionados con peajes. A continuación, se presenta la función aplicada para el caso de estudio:

$$CGT_{OD}^M = \sum_{i=1}^n Q_t * t_i + Q_d * d_i, \quad (9)$$

Donde:

$CGT_{OD}^M$ : es el costo generalizado de transporte desde un punto origen (*O*) hasta un punto destino (*D*) para un modo de transporte (*M*) determinado; para el caso de estudio, el modo de transporte será un vehículo tracto camión tipo 3S, utilizado convencionalmente para el transporte de mercancías por modo carretero en Colombia.

*i*: enlaces que componen cada ruta origen-destino

$Q_t$ : son los costos operativos función del tiempo de viaje origen-destino.

$t_i$ : es el tiempo de viaje origen-destino.

$Q_d$ : son los costos operativos función de la distancia origen-destino.

$d_i$ : es la distancia recorrida origen-destino.

Los costos operativos  $Q_t$ , función del tiempo de viaje y los costos operativos  $Q_d$ , función de la distancia origen-destino, son recuperados del documento “Estructura de Costos de Operación Vehicular” emitido en el año 2006 por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Transporte del Ministerio de Transporte de Colombia.

De acuerdo a lo anterior, en la Tabla 10 y 11 se muestran los componentes de los costos fijos y variables aplicados a la función  $CGT$ . Igualmente se especifica el valor monetario que toma cada elemento de la función<sup>10</sup>:

**Tabla 12** Componentes de costos variables por Km

<b>Componentes de costos variables por Km</b>	<b>Año 2016 Tipo de vehículo 3S*</b>
Consumo de combustibles	
Terreno plano	1220,97
Terreno ondulado	1658,95
Terreno montañoso	2391,56
Consumo de neumáticos	667,13
Consumo de lubricantes	114,46
Consumo de filtros	62,51
Mantenimiento y reparaciones	677,13
Lavado y engrase	67,55
Imprevistos	119,17
<b>Total</b>	<b>1707,94</b>

\*Costo en pesos colombianos al año 2016

**Tabla 13** Componentes de costos fijos por mes

<b>Componentes de costos fijos por mes</b>	<b>Año 2016 - Tipo de vehículo 3S*</b>
Seguros	2'878.412,12
Salarios y prestaciones básicas	1'930.083,32
Parqueadero	221.473,92
Impuestos de rodamiento	57.249,47
Recuperación de Capital	4'411.839,68
<b>Total</b>	<b>9'499.058,51</b>

\*Costo en pesos colombianos al año 2016

Fuente: Estructura de Costos de Operación Vehicular, INVIAS 2006

<sup>10</sup> Este grupo de variables y costos son para un vehículo de tipo 3S. Este vehículo cuenta con tres ejes en su unidad tractora y una longitud total promedio de 20 metros. Igualmente tiene una capacidad de carga para un transportar un contenedor estándar de 15 metros de longitud. Es el vehículo más común utilizado en el contexto de mercado interno y regional en Colombia.

Los costos por variable mostrados anteriormente, son el resultado de indexar cada valor del reporte de Costos de Operación Vehicular en función del Índice de Precios al Consumidor (IPC) para el mes de mayo de 2006 y octubre de 2016<sup>11</sup>. Lo anterior, teniendo en cuenta la necesidad de trabajar con costos actuales que describan mejor la realidad del costo de transporte de mercancía en Colombia.

#### 4.6. Evaluación de Cohesión Territorial

**El comportamiento de la accesibilidad y su impacto en las regiones, depende de su distribución espacial:** la cohesión territorial, describe la distribución espacial de la accesibilidad. Lo anterior, se logra por medio de dos tipos de variables: accesibilidad, que para nuestro caso de estudio será función del tiempo de viaje de los enlaces que se encuentran dentro de cada Departamento de Colombia; e indicadores de desarrollo económico o social relacionados a una localización regional específica, que para nuestro caso de estudio será el aporte por departamento al Producto Interno Bruto Nacional.

La definición de los parámetros anteriores, es el resultado de analizar diferentes casos de estudio y aportes al estado del arte en el cálculo de cohesión territorial para diferentes proyectos de infraestructura en España, donde las últimas décadas de inversión en corredores viales para el transporte de mercancía ha inducido a la generación de nuevos conocimientos, metodologías y aplicación de análisis espaciales de Accesibilidad, cohesión territorial, entre otros.

Teniendo en cuenta lo anterior, la función de cohesión territorial  $C_D^M$  aplicada al análisis del impacto de los proyectos viales 4G en Colombia, será la siguiente:

$$C_D^M = \Delta A_{D,0,f} * \frac{PIB_D}{\sum_{i=1}^n PIB_i}, \quad (10)$$

Donde:

$C_D^M$ : es la medida de cohesión territorial para un departamento ( $D$ ), para un modo de transporte ( $M$ ) determinado; para el caso de estudio, el modo de transporte será un tracto camión de tipo 3S convencional en el transporte de mercancía por carretera en Colombia.

$\Delta A_{D,0,f}$ : Es la diferencia de Accesibilidad entre un escenario base ( $0$ ) y un escenario futuro ( $f$ ), con la puesta en marcha de los proyectos viales 4G. La Accesibilidad será medida en función de los tiempos de viaje para el conjunto de enlaces que espacialmente se desarrollan en cada uno de los

---

<sup>11</sup> Se trabaja el IPC de mayo de 2006 como base de la indexación, teniendo en cuenta que en ese mes se realizó la toma de datos de campo para la realización del estudio de Costos de Operación Vehicular del Ministerio de Transporte.

Departamentos. Lo anterior, con base en una identificación del trazado de cada corredor en un sistema de información geográfica (GIS).

$PIB_D$ : Es el Producto Interno Bruto (PIB) para cada departamento ( $D$ ). Este indicador es obtenido del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), de su reporte preliminar de cuentas Departamentales de PIB nacional y departamental del año 2017.

$t_i$ : es el tiempo de viaje origen-destino.

$\sum_{i=1}^n PIB_i$ : Es la sumatoria del PIB de cada departamento de Colombia ( $n$ ).

#### 4.7. Evaluación de Efectos de desbordamiento

Desde un enfoque de tipo conceptual, es importante analizar los efectos que tiene la puesta en marcha de los proyectos **4G más allá de su localización geográfica**: mediante el análisis de efectos de desbordamiento, se pueden identificar zonas con potencial de desarrollo o mejoramiento de sus condiciones económicas y de desarrollo partiendo de una mejora en infraestructura de transporte.

En este caso, los resultados de cohesión territorial representados mediante un SIG, serán la base para el análisis de resultados e identificación de regiones donde puede presentarse efectos de desbordamiento en un escenario futuro con el desarrollo de las vías 4G. En este orden de ideas y mediante una escala de un mapa de calor, serán definidos aquellos departamentos donde se espera existan efectos de desbordamiento.

#### 4.8. Análisis comparativos

**Es importante realizar un análisis comparativo de cambios de costos de transporte y accesibilidad de la red vial actual y futura**: finalmente, con el objetivo de establecer un beneficio entre la situación actual de la red vial en Colombia y la puesta en marcha de los proyectos 4G, se realizará un análisis comparativo de los costos de transporte de mercancía y accesibilidad. En esta fase final, serán identificados los corredores de mayor impacto y aquellos que no presentan aportes significativos al mejoramiento de la situación actual de la red de carreteras del país. Igualmente se planteará un primer acercamiento a futuras generaciones de concesiones, teniendo en cuenta los resultados del análisis de costos de transporte, accesibilidad y escenarios comparativos respecto a los proyectos de 4G.

## **5. EVALUACIÓN DE EFECTOS Y CUANTIFICACION DEL IMPACTO DEL PROGRAMA DE CONCESIONES DE CUARTA GENERACION EN COLOMBIA**

### **5.1. Introducción**

Los resultados de la evaluación de accesibilidad y costos de transporte entre el escenario base y el programa de 4G, se basa en la comparación de los resultados entre ambas situaciones. La introducción gradual de las distintas fases de los proyectos de 4G, puede representar un aumento en la accesibilidad de las regiones cercanas a los proyectos y a su vez una disminución de los costos de transporte. Lo anterior, cuando la actividad del transporte entre dos ubicaciones distintas requiera la utilización de un corredor incluido en el programa de 4G.

También es importante tener en cuenta que producto de la investigación, algunos proyectos que conectan regiones de producción y consumo no llegarán a presentar modificaciones en términos de accesibilidad y costos de transporte debido a que los corredores de 4G no abarcan integralmente al país, y algunos de los proyectos actúan en competencia con las vías ya existentes. Igualmente, se identifican los corredores con mayores y menores cambios en accesibilidad y función *CGT*.

Finalmente, y a través de este modelo, se han podido establecer los ahorros en costos de transporte que de alguna forma podrían incorporarse en el valor añadido de los productos, beneficiando la competitividad de los productores dentro del país. Adicionalmente, esta investigación proporciona el conocimiento y las herramientas a los hacedores de políticas públicas sobre el impacto de programa de inversiones de carreteras en países en vía de desarrollo y en proceso de mejoramiento de la competitividad económica interna. Lo anterior, en miras al planteamiento de próximas generaciones de concesiones viales que aporten de manera importante al desarrollo económico del país, a la conectividad entre regiones, al alcance de bienestar social y acceso a commodities en un marco de postconflicto y restitución de la presencia del Estado en la totalidad del territorio Colombiano.

## **5.2. Efecto 1: Cambios en Accesibilidad**

A continuación, se presenta la tabla de resultados de la evaluación y cálculo del cambio de accesibilidad para los proyectos viales desde la primera hasta la cuarta generación de concesiones en Colombia.

Cada proyecto vial, compuesto por tramos presenta un valor de accesibilidad característico objeto de comparación entre un escenario base y futuro, teniendo en cuenta la puesta en marcha de los proyectos 4G.

El escenario base para el cálculo de accesibilidad, tiene en cuenta características técnicas actuales de los proyectos respecto a la velocidad de diseño reportada en documentos técnicos e informes de la operación vial de las diferentes concesiones. En el caso del escenario futuro, son tenidos en cuenta los cambios en especificaciones técnicas traducidos en mayores velocidades de diseño que se aproximan en general a 80Km/h.

Teniendo en cuenta lo anterior, existen tramos o proyectos que no presentan cambios en accesibilidad debido a que no hacen parte del grupo de vías 4G.

Adicionalmente, la variable espacial en la mayoría de proyectos pierde relevancia y solamente el tiempo, que es el parámetro de comparación influye de manera directa sobre los cambios de accesibilidad entre los dos escenarios. Lo anterior, teniendo en cuenta que solamente un proyecto de 4G responde a un trazado totalmente nuevo en contraste con la mayoría que corresponden a mejoramientos del trazado actual y duplicación del alineamiento para obtener una configuración final de doble calzada.

**Tabla 14** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 1

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)
Bogotá Villavicencio	Usme - Entrada túnel Boquerón	2.2	4.4	1.7	62.5
	Túnel del Boquerón	2.4	2.4	1.8	25.0
	Salida túnel Boquerón Cáqueza tramo 1	10	17.1	7.5	56.3
	Salida túnel Boquerón Cáqueza tramo 2	8	13.7	6.0	56.3
	Cáqueza - Guayabetal	31	37.2	23.3	37.5
	Guayabetal - Villavicencio	32	54.9	24.0	56.3
	<b>Total</b>	<b>85.6</b>	<b>129.7</b>	<b>64.2</b>	<b>50.5</b>
Malla vial del Meta	Villavicencio - Cumaral	18	15.4	13.5	12.5
	Villavicencio - Puerto López	82.34	70.6	70.6	0.0
	San Martín - Granada	19	16.3	16.3	0.0
	Acacias - Guamal	16	13.7	13.7	0.0
	Villavicencio - Acacias	26	22.3	22.3	0.0
	Puente Humadea - San Martín	17	14.6	14.6	0.0
	Guamal - Puente Humadea	10	8.6	8.6	0.0
	<b>Total</b>	<b>188.34</b>	<b>161.4</b>	<b>159.5</b>	<b>1.2</b>
Perimetral de Oriente de Cundinamarca	El Salitre - Entrada Guasca	10	20.0	15.0	25.0
	Los patios - La Calera	13	39.0	13.0	66.7
	Alto del Rodadero - Cáqueza	5	15.0	5.0	66.7
	Choachí - Ubaque	8	24.0	8.0	66.7
	Ubaque - Alto del Rodadero	5	15.0	5.0	66.7
	La Calera - El Salitre	20	30.0	20.0	33.3
	Guatavita - Sesquilé	12	24.0	18.0	25.0
	Guasca - Guatavita	7	14.0	10.5	25.0
	El Salitre - Sopó	7	10.5	7.0	33.3
	Los Patios - Choachí	19	57.0	19.0	66.7
	Sopó - Briceño	3.6	3.6	2.7	25.0
	<b>Total</b>	<b>109.6</b>	<b>252.1</b>	<b>123.2</b>	<b>51.1</b>
Bogotá - Siberia El Vino - Villeta	Calle 80, Río Bogotá - El rosal	22.2	26.6	26.6	0.0
	El rosal - El Vino	9	15.4	15.4	0.0
	El Vino - La Vega	22	37.7	37.7	0.0
	La Vega - Villeta	28.5	48.9	48.9	0.0
	<b>Total</b>	<b>81.7</b>	<b>128.6</b>	<b>128.6</b>	<b>0.0</b>
Santa Marta Rioacha Paraguachón	Río Palomino - Tigrera	40	34.3	34.3	0.0
	Santa Marta - Río Palomino	100	85.7	85.7	0.0
	Tigrera - Rioacha	16	13.7	13.7	0.0
	Variante Rioacha - Cuatro Vías	50	42.9	42.9	0.0
	Cuatro Vías - Maicao	20	17.1	17.1	0.0
	Salida Albania - Carraipia	10	8.6	8.6	0.0
	Albania - Cuestecita	5	4.3	4.3	0.0
	Carraipia - Albania	20	17.1	17.1	0.0
	Rioacha - Variante Rioacha	9	7.7	7.7	0.0
	Maicao - Paraguachón	15	12.9	12.9	0.0
	<b>Total</b>	<b>285</b>	<b>244.3</b>	<b>244.3</b>	<b>0.0</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 15** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 2

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)	
Circunvalar de la prosperidad	Arroyo Grande - Marahuaco	10	8.6	7.5	12.5	
	El Morro - Salinas del Rey	10	8.6	7.5	12.5	
	Barranquilla - Puerto Colombia	11	9.4	8.3	12.5	
	San Vicente - Lomita Arena	17	14.6	12.8	12.5	
	Lomita Arena - Arroyo Grande	18	15.4	13.5	12.5	
	Salinas del Rey - San Vicente	13	11.1	9.8	12.5	
	Tierra baja - Cartagena	10	8.6	7.5	12.5	
	Tierra baja - Marahuaco	10	8.6	7.5	12.5	
	Puerto Colombia - El morro	11	9.4	6.6	30.0	
Barranquilla - malambo	36.7	36.7	27.5	25.0		
	<b>Total</b>	<b>146.7</b>	<b>131.0</b>	<b>108.4</b>	<b>17.3</b>	
Devinorte	Cajicá - Zipaquirá	13	11.1	11.1	0.0	
	La Uribe - La Caro	9	7.7	7.7	0.0	
	La Caro - Briceño	16	13.7	13.7	0.0	
	La Caro - Cajicá	13	11.1	11.1	0.0	
	<b>Total</b>	<b>51</b>	<b>43.7</b>	<b>43.7</b>	<b>0.0</b>	
Neiva	Espinal - Flandes	13	11.1	11.1	0.0	
	Neiva - Natagaima	80	68.6	68.6	0.0	
	Natagaima - Cr Palma Alta	5	4.3	4.3	0.0	
	Barroso - Km 1 Guamo	2	1.7	1.7	0.0	
	Espinal	Jabalcon - Saldana	12	10.3	10.3	0.0
		Media Luna - Jabalcon	12	10.3	10.3	0.0
	Girardot	Cr Cascabel - Media Luna	9	7.7	7.7	0.0
		Saldana - Barroso	14	12.0	12.0	0.0
		Km 1 Guamo - Espinal	16	13.7	13.7	0.0
		Flandes - Girardot	5	4.3	4.3	0.0
<b>Total</b>	<b>168</b>	<b>144.0</b>	<b>144.0</b>	<b>0.0</b>		
Bogotá	Mosquera - Facatativá	6	7.2	7.2	0.0	
	Facatativá - Los Alpes	7	12.0	12.0	0.0	
	Faca	Bogotá - Mosquera	8	9.6	9.6	0.0
		Mosquera - Facatativá	7	8.4	8.4	0.0
	Los Alpes	Mosquera - Facatativá	8	9.6	9.6	0.0
		Mosquera - Facatativá	2	2.4	2.4	0.0
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>49.2</b>	<b>49.2</b>	<b>0.0</b>		
Desarrollo Vial del oriente de Medellín	Salida Rionegro - Rionegro	20	34.3	34.3	0.0	
	Rotonda Sancho Paisa - La Fe	10	17.1	17.1	0.0	
	Salida a Guarne - Guarne	20	34.3	34.3	0.0	
	La Pinuela - La Garrucha	25	42.9	42.9	0.0	
	La Ceja - La unión	15	25.7	25.7	0.0	
	El Santuario - La Esperanza	23	39.4	39.4	0.0	
	Devimede	Rinegro - Carmen de Viboral	13	15.6	15.6	0.0
		Marinilla - Santuario	12	14.4	14.4	0.0
		Rionegro - Marinilla	9	10.8	10.8	0.0
		Crucero - Marinilla	12	14.4	14.4	0.0

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 16** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 3

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)
Desarrollo Vial del oriente de Medellín	Don Diego - La Ceja	14	24.0	24.0	0.0
	La Ceja - Rionegro	15	25.7	25.7	0.0
	Guarne - Crucero	9	10.8	10.8	0.0
	La Esperanza - La Pinuela	21	36.0	36.0	0.0
	La Garrucha - Puerto Triunfo	20	34.3	34.3	0.0
	La Fe - Don Diego	3	5.1	5.1	0.0
	La Fe - El Retiro	4	4.8	4.8	0.0
	La Fe - El Retiro	3	5.1	5.1	0.0
	Don Diego - Rio Negro	12	14.4	14.4	0.0
	Don Diego - Rio Negro	4	6.9	6.9	0.0
	Llano grande - Aeropuerto	8	6.9	6.9	0.0
	La Garrucha - Puerto Triunfo	25	30.0	30.0	0.0
	<b>Total</b>	<b>297</b>	<b>452.9</b>	<b>452.9</b>	<b>0.0</b>
Devimed	Chinchiná - Manizales	27	54.0	27.0	50.0
	Club de Tiro - El manzano	16	19.2	19.2	0.0
	La Paila - Corozal	21	25.2	25.2	0.0
	Corozal - La Tebaida	24	28.8	28.8	0.0
	La Tebaida - Club Campestre	6	7.2	7.2	0.0
	Armenia - Circasia	14	16.8	16.8	0.0
	Circasia - Cruces	14	16.8	16.8	0.0
	Cruces - El Manzano	6	7.2	7.2	0.0
	Club Campestre - Armenia	13	11.1	11.1	0.0
	Chinchiná - Pereira	27	23.1	23.1	0.0
	Pereira - Club de Tiro	9	10.8	10.8	0.0
	Chinchiná - Pereira	12.2	14.6	14.6	0.0
	La Paila - Corozal	13	15.6	15.6	0.0
	<b>Total</b>	<b>202.2</b>	<b>250.5</b>	<b>223.5</b>	<b>10.8</b>
Malla vial del Cauca:	Popayán - Naribeo	15	18.0	11.3	37.5
	Naribeo - Piendamó	11	13.2	8.3	37.5
	Piendamó - Pescador	24	28.8	18.0	37.5
	Pescador - Buenos Aires	3	3.6	2.3	37.5
	El Pital - Stder de Quirichao	20	24.0	15.0	37.5
	Buenos Aires - El Pital	7	8.4	5.3	37.5
	<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>96.0</b>	<b>60.0</b>	<b>37.5</b>
Malla vial del Cauca:	Santander de Quirichao Ye Villarica	18	15.4	15.4	0.0
	Ortigal - El Arenal	17	14.6	14.6	0.0
	Ye de Villarica Puerto Tejada	16	13.7	13.7	0.0
	Puerto Tejada - Ortigal	9	7.7	7.7	0.0
	Ye de Villarica - Jamundí	18	15.4	15.4	0.0
	Candelaria - Palmira	16	13.7	13.7	0.0
	El Arenal - Candelaria	6	5.1	5.1	0.0
	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>85.7</b>	<b>85.7</b>	<b>0.0</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 17** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 4

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)
Malla vial del Cauca: Palmira - Buga	El Cerrito - Zabaletas	6	5.1	5.1	0.0
	Palmira - El Cerrito	23	19.7	19.7	0.0
	Zabaletas - Buga	29	24.9	24.9	0.0
	<b>Total</b>	<b>58</b>	<b>49.7</b>	<b>49.7</b>	<b>0.0</b>
Malla vial del Cauca: Cali - Palmira	Estambul - Palmira	12	10.3	10.3	0.0
	Cali - Estambul	10	8.6	8.6	0.0
	<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>18.9</b>	<b>18.9</b>	<b>0.0</b>
Malla vial del Cauca: Yumbo Mediacanoa	Yumbo - Vijes	13	15.6	15.6	0.0
	Villamaría - Mediacanoa	28	33.6	33.6	0.0
	Vijes - Villamaría	4	3.4	3.4	0.0
	Yumbo - Vijes	3	3.6	3.6	0.0
	<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>56.2</b>	<b>56.2</b>	<b>0.0</b>
Malla vial del Cauca: Cencar - Aeropuerto Recta Cali - Palmira	Aeropuerto - Recta Cali Palmira	4	3.4	3.4	0.0
	Cencar - Aeropuerto	23	19.7	19.7	0.0
	<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>23.1</b>	<b>23.1</b>	<b>0.0</b>
Malla vial del Cauca: Mediacanoa Loboguerrero	Madroñal - Loboguerrero	10	17.1	17.1	0.0
	Mediacanoa - Alto de Calima	27	46.3	46.3	0.0
	Alto de Camila - Madroñal	5	6.0	6.0	0.0
	Madroñal - Loboguerrero	12	20.6	20.6	0.0
	<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>90.0</b>	<b>90.0</b>	<b>0.0</b>
Zipaquirá Bucaramanga (Palenque)	Fin variante Ubaté Puente Nacional	96	115.2	115.2	0.0
	Barbosa - Oiba	69	118.3	82.8	30.0
	Oiba - Bucaramanga	146	250.3	175.2	30.0
	Zipaquirá - Cogua	7	6.0	6.0	0.0
	Casa de Teja Inicio variante Ubaté	27	46.3	46.3	0.0
	Cogua - Casa de Teja	7	6.0	6.0	0.0
	Inicio a Fin variante de Ubaté	3	2.6	2.6	0.0
	Puente Nacional - Barbosa	5	6.0	6.0	0.0
	Oiba - Bucaramanga	10	17.1	12.0	30.0
	<b>Total</b>	<b>370</b>	<b>567.8</b>	<b>452.1</b>	<b>20.4</b>
Girardot Honda Puerto Salgar	Puerto Bogotá Puerto Salgar	45	90.0	33.8	62.5
	Guataquí - Beltrán	50	100.0	37.5	62.5
	Nariño - Guataquí	30	60.0	22.5	62.5
	Girardot - Nariño	25	50.0	18.8	62.5
	Cambao - Puerto Bogotá	45	90.0	33.8	62.5
	Beltrán - Cambao	14	28.0	10.5	62.5
	<b>Total</b>	<b>209</b>	<b>418.0</b>	<b>156.8</b>	<b>62.5</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 18** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 5

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)
Autopista conexión Norte: Remedios Zaragoza	Remedios - Zaragoza	60	102.9	45.0	56.3
	Zaragoza - Caucasia	85	145.7	63.8	56.3
<b>Total</b>		<b>145</b>	<b>248.6</b>	<b>108.8</b>	<b>56.3</b>
Autopista Río Magdalena 2	Remedios - Vegachi	37	63.4	27.8	56.3
	Vegachi - Intercambiador alto dolores	35	60.0	26.3	56.3
	Intercambiador alto dolores - Puerto Berrío	47	80.6	35.3	56.3
	Puerto Berrío - Ruta del Sol	25	30.0	18.8	37.5
<b>Total</b>		<b>144</b>	<b>234.0</b>	<b>108.0</b>	<b>53.8</b>
Conexión Pacífico 1	Ancón Sur - Primavera	12	20.6	12.0	41.7
	Primavera - Camilo Cé	13	22.3	13.0	41.7
	Camilo Cé - Sabaletas Km 13	12	20.6	9.0	56.3
	Sabaletas Km 13 - Bolombolo	12	20.6	9.0	56.3
<b>Total</b>		<b>49</b>	<b>84.0</b>	<b>43.0</b>	<b>48.8</b>
Conexión Pacífico 2	Alto de minas - Primavera	18	30.9	18.0	41.7
	La Pintada - Sabaletas	26	44.6	26.0	41.7
	Sabaletas - Alto de minas	10	17.1	10.0	41.7
	La Pintada Inicio túnel Mulatos	37	44.4	27.8	37.5
	Fin túnel Mulatos Bolombolo	2	2.4	1.5	37.5
	Inicio túnel Mulatos Fin túnel Mulatos	5	6.0	3.8	37.5
<b>Total</b>		<b>98</b>	<b>145.4</b>	<b>87.0</b>	<b>40.2</b>
Conexión Pacífico 3	El Cairo - Asia	22	18.9	16.5	12.5
	La Virginia - El Cairo	8	6.9	6.0	12.5
	Asia - Anserma	10	8.6	7.5	12.5
	Anserma - Cauya	16	19.2	12.0	37.5
	Cr a la Pintada - El Palo	46	55.2	34.5	37.5
	El Palo - Irra	20	17.1	15.0	12.5
	Inicio variante Tesalia Fin variante	24	20.6	18.0	12.5
<b>Total</b>		<b>146</b>	<b>146.4</b>	<b>109.5</b>	<b>25.2</b>
Mulaló Loboguerrero	Mulaló - Loboguerrero	31.8	proyecto no existente	23.9	N/A
<b>Total</b>		<b>31.8</b>	<b>0.0</b>	<b>23.9</b>	
Ocaña	Río de Oro - Ocaña	7	10.5	8.4	20.0
	Aguachica - Gamarra	18	21.6	18.0	16.7
Gamarra	El Hobo	36	54.0	43.2	20.0
	Intersección Aguaclara	5	6.0	5.0	16.7
Puerto Capulco	Intersección Aguaclara Aguachica	6	7.2	6.0	16.7
	Gamarra - Puerto Capulco	6	7.2	6.0	16.7
<b>Total</b>		<b>72</b>	<b>99.3</b>	<b>80.6</b>	<b>18.8</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 19** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 6

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)
Autopista al Mar 1	Km 2 a Palmitas Cr a Palmitas	6	10.3	4.5	56.3
	Cangrejo - Anza	13	22.3	13.0	41.7
	Bolombolo K5+075 Cangrejo	26	31.2	26.0	16.7
	Salida a Palmitas Km 2 a Palmitas	5	6.0	3.8	37.5
	Olaya - Cañasgordas	42	72.0	31.5	56.3
	Sopetrán Santafé de Antioquia	5	8.6	3.8	56.3
	Anza - Caicedo	20	34.3	20.0	41.7
	Caicedo Santafé de Antioquia	8	13.7	8.0	41.7
	Santafé de Antioquia Olaya	8	13.7	6.0	56.3
	Palmitas - San Jerónimo	7	12.0	5.3	56.3
	Las Palmas - Palmitas	14	24.0	10.5	56.3
	San Jerónimo - Sopetrán	13	22.3	9.8	56.3
	Bolombolo Bolombolo K5+075	3	5.1	2.3	56.3
	Bolombolo K1+085 Bolombolo K5+075	6	10.3	4.5	56.3
<b>Total</b>	<b>176</b>	<b>285.8</b>	<b>148.8</b>	<b>47.9</b>	
Autopista al Mar 2	Mutatá - El Tigre	45	77.1	33.8	56.3
	Chigorodó - Río Grande	28	33.6	21.0	37.5
	El Tigre - Chigorodó	12	20.6	9.0	56.3
	El Tres - Turbo	9	10.8	6.8	37.5
	Riogrande - El Tres	16	19.2	12.0	37.5
	La Honda - El Madero	10	12.0	7.5	37.5
	Cañasgordas - La Honda	10	12.0	7.5	37.5
	Dabeiba - Mutatá	49	58.8	36.8	37.5
	Uramita - Dabeiba	18	21.6	13.5	37.5
	El Madero - Uramita	12	14.4	9.0	37.5
Turbo - Necoclí	45	38.6	33.8	12.5	
<b>Total</b>	<b>254</b>	<b>318.7</b>	<b>190.5</b>	<b>40.2</b>	
Transversal del Sisga	Guateque - Las Juntas	13	22.3	15.6	30.0
	Machetá - Tibiritá	17	29.1	20.4	30.0
	Tibiritá - Guateque	15	25.7	18.0	30.0
	Las Juntas - Macanal	12	20.6	14.4	30.0
	San Luis de Gaceno Agua Clara	27	46.3	32.4	30.0
	Macanal - Santa María	15	25.7	18.0	30.0
	Sisga - Machetá	17	29.1	20.4	30.0
El Sisga					
El Secreto					
	Santa María San Luis de Gaceno	21	36.0	25.2	30.0
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>234.9</b>	<b>164.4</b>	<b>30.0</b>	

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 20** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 7

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)
Santa Ana Mocoa Neiva	Villa Garzón - Santa Ana	62.5	75.0	62.5	16.7
	Pitalito - San Juan	60.7	104.1	60.7	41.7
	San Juan - Mocoa	76.1	130.5	76.1	41.7
	Garzón - Norte Pitalito	81.2	97.4	81.2	16.7
	Gigante - Garzón	35.6	42.7	35.6	16.7
	Neiva Sur - Campo Alegre	21.9	18.8	14.6	22.2
	Campo Alegre - Gigante	65	78.0	65.0	16.7
	Norte Pitalito - Sur Pitalito	5	6.0	5.0	16.7
	Sur Pitalito - San Agustín	23	27.6	23.0	16.7
	Mocoa - Villa Garzón	16	19.2	19.2	0.0
<b>Total</b>		<b>447</b>	<b>599.2</b>	<b>442.9</b>	<b>26.1</b>
Puerta de Hierro Cruz del Vizo Palmar de Varela	Campo de la Cruz Puerto Giraldo	22	26.4	16.5	37.5
	Puerta de Hierro - Ovejas	13	15.6	9.8	37.5
	San Cristobal - Arroyo grande	12	14.4	9.0	37.5
	Carreto - Barranca nueva	22	26.4	16.5	37.5
	Variante el Carmen Salida a Ovejas	4	4.8	3.0	37.5
	Ovejas - Variante el Carmen	21	25.2	15.8	37.5
	Salida a San Cristobal Variante el Carmen	3	3.6	2.3	37.5
	San Jacinto - San Cristobal	7	8.4	5.3	37.5
	Variante el Carmen San Jacinto	7	8.4	5.3	37.5
	Malagana - Cruz del Vizo	5	6.0	3.8	37.5
	Carreto - Malagana	20	24.0	15.0	37.5
	Arroyo Grande - Carreto	14	16.8	10.5	37.5
	Barranca nueva - Calamar	10	12.0	7.5	37.5
	Calamar - Campo de la Cruz	13	15.6	9.8	37.5
	Puerto Giraldo - Ponedera	12	14.4	9.0	37.5
Ponedera - Palmar de Varela	10	12.0	7.5	37.5	
<b>Total</b>		<b>195</b>	<b>234.0</b>	<b>146.3</b>	<b>37.5</b>
Villavicencio Yopal	Villavicencio - Cumaral	18	15.4	13.5	12.5
	Cumaral 1 - Cumaral 2	8	6.9	6.9	0.0
	Cumaral - Paratebuena	42	50.4	36.0	28.6
	Aguazul - Yopal	27	23.1	20.3	12.5
	Villanueva - Aguaclara	21	18.0	18.0	0.0
	Monterrey - Tauramena	49	58.8	42.0	28.6
	Paratebuena Barranca de Upía	43	51.6	36.9	28.6
	Barranca de Upía Villanueva	8	6.9	6.9	0.0
	Aguaclara - Monterrey	21	25.2	18.0	28.6
	Tauramena - Aguazul	27	32.4	23.1	28.6
<b>Total</b>		<b>264</b>	<b>288.7</b>	<b>221.5</b>	<b>23.3</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 21** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 8

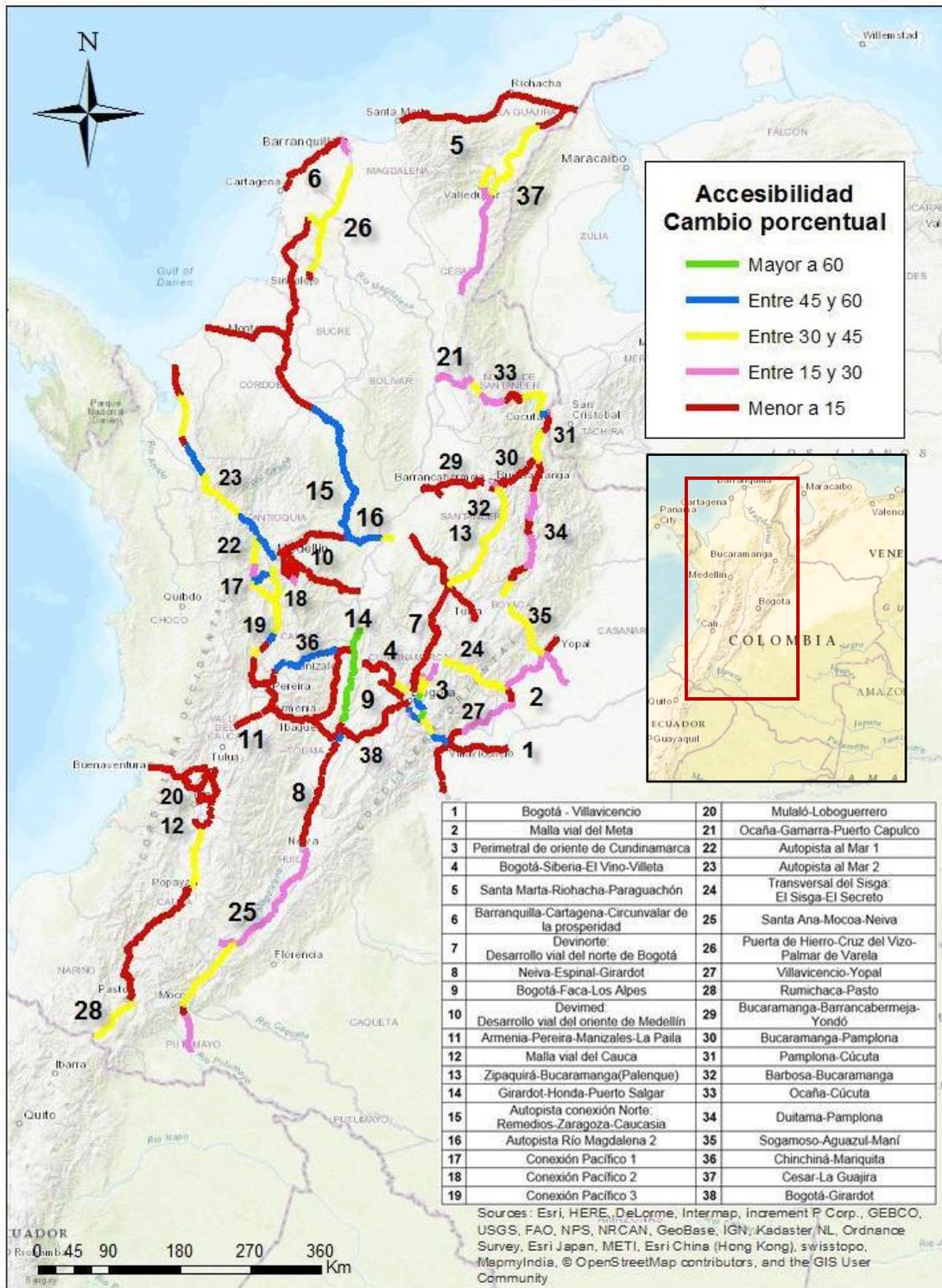
Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)
Rumichaca Pasto	Córdoba - Ipiales	9	13.5	9.0	33.3
	Ipiales - Rumichaca	6	9.0	6.0	33.3
	Pedregal - Pilcuán	8	12.0	8.0	33.3
	El Tablón - Contadero	17	25.5	17.0	33.3
	Contadero - Córdoba	6	9.0	6.0	33.3
	Pilcuán - El Tablón	3	4.5	3.0	33.3
	Cruz de Amarillo - Tangua	14	21.0	14.0	33.3
	Tangua - Pedregal	9	13.5	9.0	33.3
	Pasto - Cruz de Amarillo	8	12.0	8.0	33.3
<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>120.0</b>	<b>80.0</b>	<b>33.3</b>	
Bucaramanga Barrancabermeja Yondó	Puente La Paz La Fortuna	30	19.2	12.0	37.5
	La Lizama - La Virgen	20	21.0	14.0	33.3
	La Virgen - Rnacho Camacho	14	8.6	8.6	0.0
	La Virgen Puente Guillermo Gaviria	14	15.6	15.6	0.0
	La Fortuna - La Lizama	10	3.6	3.6	0.0
	La renta - Marta	7	8.0	8.0	0.0
	Portugal - La Renta	5	50.0	18.8	62.5
	Lebrija - Portugal	16	8.4	5.3	37.5
	Puente Guillermo Gaviria Yondó	14	24.0	24.0	0.0
<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>158.4</b>	<b>109.8</b>	<b>30.7</b>	
Bucaramanga Pamplona	Bucaramanga - Floridablanca	13.5	16.2	13.5	16.7
	Mutiscua - Pamplona	25	30.0	30.0	0.0
	Bucaramanga - El Picacho	54.5	65.4	65.4	0.0
	Cuestaboba - Mutiscua	30	36.0	36.0	0.0
	El Picacho - Cuestaboba	10.1	12.1	12.1	0.0
<b>Total</b>	<b>133.1</b>	<b>159.7</b>	<b>157.0</b>	<b>1.7</b>	
Pamplona Cúcuta	Peaje Los Acacios - Cúcuta	10.9	9.3	9.3	0.0
	Pamplona - El Diamante	25	37.5	25.0	33.3
	El Diamante Peaje los Acacios	26	39.0	26.0	33.3
<b>Total</b>	<b>61.9</b>	<b>85.8</b>	<b>60.3</b>	<b>29.7</b>	
Barbosa Bucaramanga	Barbosa - Oiba	69	118.3	82.8	30.0
	Oiba - Bucaramanga	146	250.3	175.2	30.0
	Oiba - Bucaramanga	10	17.1	12.0	30.0
	Giron - Palenque	9	7.7	7.7	0.0
	Floridablanca - Girón	4	3.4	3.4	0.0
<b>Total</b>	<b>238</b>	<b>396.9</b>	<b>281.1</b>	<b>29.2</b>	

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 22** Evaluación y cambios en accesibilidad - Parte 9

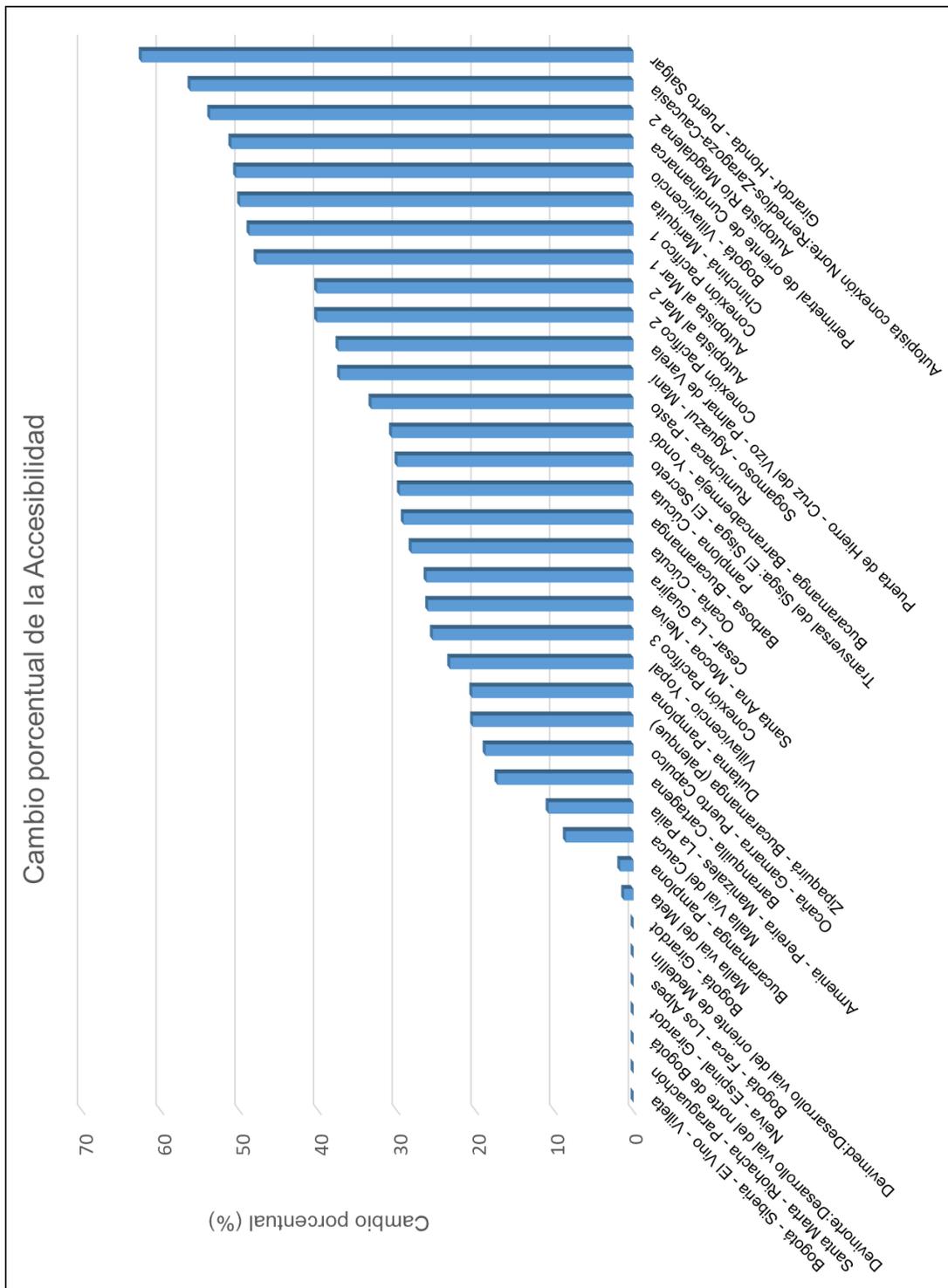
Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	Accesibilidad escenario base (minutos)	Accesibilidad escenario futuro (minutos)	Cambio de Accesibilidad (%)	
Ocaña	Río de Oro - Ocaña	7	10.5	8.4	20.0	
	Chapinero - Alto El Pozo	56	96.0	61.1	36.4	
	Ocaña - Chapinero	18	30.9	21.6	30.0	
	Cúcuta	Alto El Pozo - Sardinata	59	101.1	88.5	12.5
		Sardinata - El Zulia	57	97.7	64.5	34.0
		El Zulia - Cúcuta	5.8	9.9	4.4	56.3
<b>Total</b>		<b>202.8</b>	<b>346.2</b>	<b>248.5</b>	<b>28.2</b>	
Duitama	Santa Rosita - Soata	33	49.5	39.6	20.0	
	Belén - Santa Rosita	34	51.0	40.8	20.0	
	Duitama - Belén	34	51.0	34.0	33.3	
	Pamplona	Capitanejo - Málaga	35	60.0	52.5	12.5
		Soata - Capitanejo	34	51.0	40.8	20.0
		Presidente - Pamplona	70	105.0	84.0	20.0
		Málaga - Presidente	68	102.0	81.6	20.0
<b>Total</b>		<b>308</b>	<b>469.5</b>	<b>373.3</b>	<b>20.5</b>	
Sogamoso	Aguazul - Maní	53	53.0	39.8	25.0	
	Toquilla - Pajarito	37	74.0	44.4	40.0	
Aguazul	Pajarito - Aguazul	32	64.0	38.4	40.0	
	El crucero - Toquilla	36	72.0	43.2	40.0	
Maní	Sogamoso - El Crucero	16	32.0	19.2	40.0	
<b>Total</b>		<b>174</b>	<b>295.0</b>	<b>185.0</b>	<b>37.3</b>	
Chinchiná	Chinchiná - Manizales	27	54.0	27.0	50.0	
	Fresno - Mariquita	23	46.0	23.0	50.0	
	Puente La Libertad - Padua	65	130.0	65.0	50.0	
Mariquita	Manizales	6	12.0	6.0	50.0	
	Puente La Libertad					
	Padua - Fresno	14	28.0	14.0	50.0	
<b>Total</b>		<b>135</b>	<b>270.0</b>	<b>135.0</b>	<b>50.0</b>	
Cesar	Valledupar - Badillo	38	57.0	38.0	33.3	
	La Paz - San Roque	140	168.0	140.0	16.7	
La Guajira	La Paz - Valledupar	14	16.8	14.0	16.7	
	Cuestecitas - Distracción	53	79.5	53.0	33.3	
	Distracción - La Paz	77	115.5	77.0	33.3	
<b>Total</b>		<b>322</b>	<b>436.8</b>	<b>322.0</b>	<b>26.3</b>	
Bogotá	Fusagasugá - Melgar	45	45.0	45.0	0.0	
	Melgar - Girardot	32	32.0	32.0	0.0	
Girardot	Chusacá - Sylvania	35	35.0	35.0	0.0	
	Bogotá - Chusacá	25	25.0	25.0	0.0	
	Sylvania - Fusagasugá	8	8.0	8.0	0.0	
<b>Total</b>		<b>145</b>	<b>145.0</b>	<b>145.0</b>	<b>0.0</b>	

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 16 Cambio porcentual de accesibilidad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 17 Comparativo del cambio porcentual de accesibilidad

### **5.3. Efecto 2: Cambios en el Costo Generalizado de Transporte**

A continuación se presenta la tabla de resultados de la evaluación y cálculo de la función de Costo Generalizado del Transporte *CGT* para los proyectos viales desde la primera hasta la cuarta generación de concesiones en Colombia.

Cada proyecto vial, compuesto por tramos presenta un valor de *CGT* característico objeto de comparación entre un escenario base y futuro, teniendo en cuenta la puesta en marcha de los proyectos 4G.

El escenario base para el cálculo de accesibilidad, tiene en cuenta características técnicas actuales de los proyectos reportadas en documentos técnicos e informes de la operación vial de las diferentes concesiones. En el caso del escenario futuro, son tenidos en cuenta los cambios en especificaciones técnicas como: pendiente longitudinal y tipo de terreno, velocidad de diseño, distancia origen y destino, entre otros y sus costos asociados como costo de combustibles, mantenimiento y reparaciones de los vehículos.

Teniendo en cuenta lo anterior, existen tramos o proyectos que no presentan cambios en *CGT* debido a que no hacen parte de los proyectos 4G y por lo tanto las variables temporales y espaciales no presentan cambios entre los dos escenarios analizados.

Adicionalmente, es importante resaltar que la integración entre variables relacionadas con el tiempo de viaje y la distancia recorrida adquiere importancia, lo anterior, en contraste con el caso de la accesibilidad donde las variables de tipo temporal presentaban una influencia de mayor peso en los resultados.

**Tabla 23** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 1

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)	Cambio CGT (%)
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)		
			Vehículo Tipo 3S			
Bogotá Villavicencio	Usme - Entrada túnel Boquerón	2.2	12228.6	10367.8	1860.8	15.2
	Túnel del Boquerón	2.4	8834.5	8428.5	406.0	4.6
	Salida túnel Boquerón Cáqueza tramo 1	10	53651.4	47126.5	6524.9	12.2
	Salida túnel Boquerón Cáqueza tramo 2	8	42921.2	37701.2	5219.9	12.2
	Cáqueza - Guayabetal	31	132235.2	122795.8	9439.4	7.1
	Guayabetal - Villavicencio	32	166778.2	145898.5	20879.7	12.5
<b>Total</b>		<b>85.6</b>	<b>416649.2</b>	<b>372318.4</b>	<b>44330.8</b>	<b>10.6</b>
Malla vial del Meta	Villavicencio - Cumaral	18	64519.0	63214.0	1305.0	2.0
	Villavicencio - Puerto López	82.34	295138.4	295138.4	0.0	0.0
	San Martín - Granada	19	68103.3	68103.3	0.0	0.0
	Acacias - Guamal	16	57350.2	57350.2	0.0	0.0
	Villavicencio - Acacias	26	93194.1	93194.1	0.0	0.0
	Puente Humadea - San Martín	17	60934.6	60934.6	0.0	0.0
	Guamal - Puente Humadea	10	35843.9	35843.9	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>188.34</b>	<b>675083.4</b>	<b>673778.4</b>	<b>1305.0</b>	<b>0.2</b>
Perimetral de Oriente de Cundinamarca	El Salitre - Entrada Guasca	10	48069.8	44686.5	3383.3	7.0
	Los patios - La Calera	13	71287.3	53694.2	17593.1	24.7
	Alto del Rodadero - Cáqueza	5	31175.7	24409.1	6766.6	21.7
	Choachí - Ubaque	8	49881.1	39054.5	10826.5	21.7
	Ubaque - Alto del Rodadero	5	31175.7	24409.1	6766.6	21.7
	La Calera - El Salitre	20	89373.0	82606.4	6766.6	7.6
	Guatavita - Sesquilé	12	57683.7	53623.8	4059.9	7.0
	Guasca - Guatavita	7	33648.8	31280.5	2368.3	7.0
	El Salitre - Sopó	7	31280.5	28912.2	2368.3	7.6
	Los Patios - Choachí	19	118467.5	92754.5	25713.0	21.7
	Sopó - Briceño	3.6	14869.2	14260.2	609.0	4.1
<b>Total</b>		<b>109.6</b>	<b>576912.2</b>	<b>489691.1</b>	<b>87221.2</b>	<b>15.1</b>
Bogotá - Siberia El Vino - Villeta	Calle 80, Río Bogotá - El rosal	22.2	94697.5	94697.5	0.0	0.0
	El rosal - El Vino	9	48286.3	48286.3	0.0	0.0
	El Vino - La Vega	22	118033.2	118033.2	0.0	0.0
	La Vega - Villeta	28.5	152906.6	152906.6	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>81.7</b>	<b>413923.6</b>	<b>413923.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Santa Marta Rioacha Paraguachón	Río Palomino - Tigrera	40	143375.5	143375.5	0.0	0.0
	Santa Marta - Río Palomino	100	358438.7	358438.7	0.0	0.0
	Tigrera - Rioacha	16	57350.2	57350.2	0.0	0.0
	Variante Rioacha - Cuatro Vías	50	179219.3	179219.3	0.0	0.0
	Cuatro Vías - Maicao	20	71687.7	71687.7	0.0	0.0
	Salida Albania - Carraipia	10	35843.9	35843.9	0.0	0.0
	Albania - Cuestecita	5	17921.9	17921.9	0.0	0.0
	Carraipia - Albania	20	71687.7	71687.7	0.0	0.0
	Rioacha - Variante Rioacha	9	32259.5	32259.5	0.0	0.0
	Maicao - Paraguachón	15	53765.8	53765.8	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>285</b>	<b>1021550.2</b>	<b>1021550.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el punto, por efectos de manejo de software.

**Tabla 24** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 2

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)	Cambio CGT (%)
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)		
			Vehículo Tipo 3S			
Barranquilla  Cartagena  Circunvalar de la prosperidad	Arroyo Grande - Marahuaco	10	35843.9	35118.9	725.0	2.0
	El Morro - Salinas del Rey	10	35843.9	35118.9	725.0	2.0
	Barranquilla - Puerto Colombia	11	39428.3	38630.8	797.5	2.0
	San Vicente - Lomita Arena	17	60934.6	59702.1	1232.5	2.0
	Lomita Arena - Arroyo Grande	18	64519.0	63214.0	1305.0	2.0
	Salinas del Rey - San Vicente	13	46597.0	45654.5	942.5	2.0
	Tierra baja - Cartagena	10	35843.9	35118.9	725.0	2.0
	Tierra baja - Marahuaco	10	35843.9	35118.9	725.0	2.0
	Puerto Colombia - El morro	11	39428.3	37514.3	1914.0	4.9
Barranquilla - malambo	36.7	135094.6	128886.3	6208.3	4.6	
<b>Total</b>		<b>146.7</b>	<b>529377.2</b>	<b>514077.4</b>	<b>15299.7</b>	<b>2.9</b>
Devinorte	Cajicá - Zipaquirá	13	46597.0	46597.0	0.0	0.0
	La Uribe - La Caro	9	32259.5	32259.5	0.0	0.0
	La Caro - Briceño	16	57350.2	57350.2	0.0	0.0
	La Caro - Cajicá	13	46597.0	46597.0	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>51</b>	<b>182803.7</b>	<b>182803.7</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Neiva  Espinal  Girardot	Espinal - Flandes	13	46597.0	46597.0	0.0	0.0
	Neiva - Natagaima	80	286750.9	286750.9	0.0	0.0
	Natagaima - Cr Palma Alta	5	17921.9	17921.9	0.0	0.0
	Barroso - Km 1 Guamo	2	7168.8	7168.8	0.0	0.0
	Jabalcon - Saldana	12	43012.6	43012.6	0.0	0.0
	Media Luna - Jabalcon	12	43012.6	43012.6	0.0	0.0
	Cr Cascabel - Media Luna	9	32259.5	32259.5	0.0	0.0
	Saldana - Barroso	14	50181.4	50181.4	0.0	0.0
	Km 1 Guamo - Espinal	16	57350.2	57350.2	0.0	0.0
Flandes - Girardot	5	17921.9	17921.9	0.0	0.0	
<b>Total</b>		<b>168</b>	<b>602177.0</b>	<b>602177.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Bogotá  Faca  Los Alpes	Mosquera - Facatativá	6	25593.9	25593.9	0.0	0.0
	Facatativá - Los Alpes	7	37556.0	37556.0	0.0	0.0
	Bogotá - Mosquera	8	34125.2	34125.2	0.0	0.0
	Mosquera - Facatativá	7	29859.6	29859.6	0.0	0.0
	Mosquera - Facatativá	8	34125.2	34125.2	0.0	0.0
	Mosquera - Facatativá	2	8531.3	8531.3	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>38</b>	<b>169791.2</b>	<b>169791.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Desarrollo Vial del oriente de Medellín  Devimed	Salida Rionegro - Rionegro	20	119568.9	119568.9	0.0	0.0
	Rotonda Sancho Paisa - La Fe	10	61011.0	61011.0	0.0	0.0
	Salida a Guarne - Guarne	20	107302.9	107302.9	0.0	0.0
	La Pinuela - La Garrucha	25	134128.6	134128.6	0.0	0.0
	La Ceja - La unión	15	80477.2	80477.2	0.0	0.0
	El Santuario - La Esperanza	23	123398.3	123398.3	0.0	0.0
	Rinegro - Carmen de Viboral	13	55453.5	55453.5	0.0	0.0
	Marinilla - Santuario	12	51187.8	51187.8	0.0	0.0
	Rionegro - Marinilla	9	38390.9	38390.9	0.0	0.0
Crucero - Marinilla	12	51187.8	51187.8	0.0	0.0	

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 25** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 3

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)	Cambio CGT (%)	
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)			
			Vehículo Tipo 3S				
Desarrollo Vial del oriente de Medellín	Don Diego - La Ceja	14	75112.0	75112.0	0.0	0.0	
	La Ceja - Rionegro	15	80477.2	80477.2	0.0	0.0	
	Guarne - Crucero	9	38390.9	38390.9	0.0	0.0	
	La Esperanza - La Pinuela	21	112668.0	112668.0	0.0	0.0	
	La Garrucha - Puerto Triunfo	20	107302.9	107302.9	0.0	0.0	
	La Fe - Don Diego	3	16095.4	16095.4	0.0	0.0	
	La Fe - El Retiro	4	17062.6	17062.6	0.0	0.0	
	Devimed	La Fe - El Retiro	3	16095.4	16095.4	0.0	0.0
		Don Diego - Rio Negro	12	51187.8	51187.8	0.0	0.0
		Don Diego - Rio Negro	4	21460.6	21460.6	0.0	0.0
		Llano grande - Aeropuerto	8	28675.1	28675.1	0.0	0.0
La Garrucha - Puerto Triunfo		25	106641.3	106641.3	0.0	0.0	
<b>Total</b>		<b>297</b>	<b>1493276.1</b>	<b>1493276.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	
Armenia	Chinchiná - Manizales	27	129788.4	111518.7	18269.8	14.1	
	Club de Tiro - El manzano	16	68250.4	68250.4	0.0	0.0	
	La Paila - Corozal	21	89578.7	89578.7	0.0	0.0	
	Corozal - La Tebaida	24	102375.7	102375.7	0.0	0.0	
	Pereira	La Tebaida - Club Campestre	6	25593.9	25593.9	0.0	0.0
		Armenia - Circasia	14	59719.1	59719.1	0.0	0.0
	Manizales	Circasia - Cruces	14	59719.1	59719.1	0.0	0.0
		Cruces - El Manzano	6	25593.9	25593.9	0.0	0.0
	La Paila	Club Campestre - Armenia	13	46597.0	46597.0	0.0	0.0
		Chinchiná - Pereira	27	96778.4	96778.4	0.0	0.0
		Pereira - Club de Tiro	9	38390.9	38390.9	0.0	0.0
		Chinchiná - Pereira	12.2	52041.0	52041.0	0.0	0.0
		La Paila - Corozal	13	55453.5	55453.5	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>202.2</b>	<b>849880.1</b>	<b>831610.3</b>	<b>18269.8</b>	<b>2.1</b>	
Malla vial del Cauca:	Popayán - Naribeo	15	63984.8	59417.3	4567.4	7.1	
	Popayán	Naribeo - Piendamó	11	46922.2	43572.7	3349.5	7.1
		Piendamó - Pescador	24	102375.7	95067.7	7307.9	7.1
		Pescador - Buenos Aires	3	12797.0	11883.5	913.5	7.1
	Stder de Quirichao	El Pital - Stder de Quirichao	20	85313.0	79223.1	6089.9	7.1
		Buenos Aires - El Pital	7	24754.5	22623.0	2131.5	8.6
<b>Total</b>		<b>80</b>	<b>336147.1</b>	<b>311787.4</b>	<b>24359.7</b>	<b>7.2</b>	
Malla vial del Cauca:	Santander de Quirichao Ye Villarica	18	64519.0	64519.0	0.0	0.0	
	Stder de quirichao Jamundí Ye de villarica Palmira	Ortigel - El Arenal	17	60934.6	60934.6	0.0	0.0
		Ye de Villarica Puerto Tejada	16	57350.2	57350.2	0.0	0.0
		Puerto Tejada - Ortigel	9	32259.5	32259.5	0.0	0.0
		Ye de Villarica - Jamundí	18	64519.0	64519.0	0.0	0.0
		Candelaria - Palmira	16	57350.2	57350.2	0.0	0.0
		El Arenal - Candelaria	6	21506.3	21506.3	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>100</b>	<b>358438.7</b>	<b>358438.7</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 26** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 4

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)	Cambio CGT (%)
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)		
			Vehículo Tipo 3S			
Malla vial del Cauca: Palmira - Buga	El Cerrito - Zabaletas	6	21506.3	21506.3	0.0	0.0
	Palmira - El Cerrito	23	82440.9	82440.9	0.0	0.0
	Zabaletas - Buga	29	103947.2	103947.2	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>58</b>	<b>207894.4</b>	<b>207894.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Malla vial del Cauca: Cali - Palmira	Estambul - Palmira	12	43012.6	43012.6	0.0	0.0
	Cali - Estambul	10	35843.9	35843.9	0.0	0.0
	<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>78856.5</b>	<b>78856.5</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Malla vial del Cauca: Yumbo Mediacanoa	Yumbo - Vijes	13	55453.5	55453.5	0.0	0.0
	Villamaría - Mediacanoa	28	119438.3	119438.3	0.0	0.0
	Vijes - Villamaría	4	14337.5	14337.5	0.0	0.0
	Yumbo - Vijes	3	12797.0	12797.0	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>48</b>	<b>202026.2</b>	<b>202026.2</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Malla vial del Cauca: Cencar - Aeropuerto Recta Cali - Palmira	Aeropuerto - Recta Cali Palmira	4	14337.5	14337.5	0.0	0.0
	Cencar - Aeropuerto	23	82440.9	82440.9	0.0	0.0
	<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>96778.4</b>	<b>96778.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Malla vial del Cauca: Mediacanoa Loboguerrero	Madroñal - Loboguerrero	10	53651.4	53651.4	0.0	0.0
	Mediacanoa - Alto de Calima	27	144858.9	144858.9	0.0	0.0
	Alto de Camila - Madroñal	5	21328.3	21328.3	0.0	0.0
	Madroñal - Loboguerrero	12	64381.7	64381.7	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>54</b>	<b>284220.3</b>	<b>284220.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
Zipaquirá  Bucaramanga (Palenque)	Fin variante Ubaté Puente Nacional	96	409502.6	409502.6	0.0	0.0
	Barbosa - Oiba	69	370194.9	346183.3	24011.7	6.5
	Oiba - Bucaramanga	146	783311.0	732503.7	50807.3	6.5
	Zipaquirá - Cogua	7	25090.7	25090.7	0.0	0.0
	Casa de Teja Inicio variante Ubaté	27	144858.9	144858.9	0.0	0.0
	Cogua - Casa de Teja	7	25090.7	25090.7	0.0	0.0
	Inicio a Fin variante de Ubaté	3	10753.2	10753.2	0.0	0.0
	Puente Nacional - Barbosa	5	21328.3	21328.3	0.0	0.0
	Oiba - Bucaramanga	10	53651.4	50171.5	3480.0	6.5
<b>Total</b>		<b>370</b>	<b>1843781.8</b>	<b>1765482.8</b>	<b>78299.0</b>	<b>4.2</b>
Girardot  Honda  Puerto Salgar	Puerto Bogotá Puerto Salgar	45	216314.0	178252.0	38062.0	17.6
	Guataquí - Beltrán	50	240348.9	198057.8	42291.1	17.6
	Nariño - Guataquí	30	144209.4	118834.7	25374.7	17.6
	Girardot - Nariño	25	120174.5	99028.9	21145.6	17.6
	Cambao - Puerto Bogotá	45	216314.0	178252.0	38062.0	17.6
	Beltrán - Cambao	14	67297.7	55456.2	11841.5	17.6
<b>Total</b>		<b>209</b>	<b>1004658.5</b>	<b>827881.6</b>	<b>176776.8</b>	<b>17.6</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 27** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 5

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)	Cambio CGT (%)
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)		
			Vehículo Tipo 3S			
Autopista conexión Norte: Remedios Zaragoza	Remedios - Zaragoza	60	321908.6	282759.2	39149.5	12.2
	Zaragoza - Caucasia	85	456037.3	400575.5	55461.8	12.2
<b>Total</b>		<b>145</b>	<b>777945.9</b>	<b>683334.6</b>	<b>94611.3</b>	<b>12.2</b>
Autopista Río Magdalena 2	Remedios - Vegachi	37	198510.3	174368.1	24142.2	12.2
	Vegachi - Intercambiador alto dolores	35	187780.0	164942.8	22837.2	12.2
	Intercambiador alto dolores - Puerto Berrío	47	252161.8	221494.7	30667.1	12.2
	Puerto Berrío - Ruta del Sol	25	106641.3	99028.9	7612.4	7.1
<b>Total</b>		<b>144</b>	<b>745093.5</b>	<b>659834.6</b>	<b>85258.9</b>	<b>11.4</b>
Conexión Pacífico 1	Ancón Sur - Primavera	12	64381.7	58581.8	5799.9	9.0
	Primavera - Camilo Cé	13	69746.9	63463.6	6283.3	9.0
	Camilo Cé - Sabaletas Km 13	12	64381.7	56551.8	7829.9	12.2
	Sabaletas Km 13 - Bolombolo	12	64381.7	56551.8	7829.9	12.2
<b>Total</b>		<b>49</b>	<b>262892.1</b>	<b>235149.1</b>	<b>27743.0</b>	<b>10.6</b>
Conexión Pacífico 2	Alto de minas - Primavera	18	96572.6	87872.7	8699.9	9.0
	La Pintada - Sabaletas	26	139493.7	126927.2	12566.5	9.0
	Sabaletas - Alto de minas	10	53651.4	48818.2	4833.3	9.0
	La Pintada Inicio túnel Mulatos	37	157829.1	146562.8	11266.4	7.1
	Fin túnel Mulatos Bolombolo	2	8531.3	7922.3	609.0	7.1
	Inicio túnel Mulatos Fin túnel Mulatos	5	21328.3	19805.8	1522.5	7.1
<b>Total</b>		<b>98</b>	<b>477406.5</b>	<b>437909.0</b>	<b>39497.5</b>	<b>8.3</b>
Conexión Pacífico 3	El Cairo - Asia	22	78856.5	77261.5	1595.0	2.0
	La Virginia - El Cairo	8	28675.1	28095.1	580.0	2.0
	Asia - Anserma	10	35843.9	35118.9	725.0	2.0
	Anserma - Cauya	16	68250.4	63378.5	4871.9	7.1
	Cr a la Pintada - El Palo	46	196220.0	182213.2	14006.8	7.1
	El Palo - Irra	20	71687.7	70237.8	1450.0	2.0
	Inicio variante Tesalia Fin variante	24	86025.3	84285.3	1740.0	2.0
<b>Total</b>		<b>146</b>	<b>565558.9</b>	<b>540590.3</b>	<b>24968.7</b>	<b>4.4</b>
Mulaló Loboguerrero	Mulaló - Loboguerrero	31.8	proyecto no existente	149862.4	N/A	N/A
<b>Total</b>		<b>31.8</b>	<b>0.0</b>	<b>149862.4</b>	<b>-149862.4</b>	
Ocaña Gamarra Puerto Capulco	Río de Oro - Ocaña	7	48071.1	46650.1	1421.0	3.0
	Aguachica - Gamarra	18	76781.7	74345.8	2436.0	3.2
	El Hobo Intersección Aguaclara	36	160871.4	153563.5	7307.9	4.5
	Intersección Aguaclara Aguachica	5	19081.9	18405.3	676.7	3.5
	Gamarra - Puerto Capulco	6	25593.9	24781.9	812.0	3.2
	<b>Total</b>		<b>72</b>	<b>330400.0</b>	<b>317746.5</b>	<b>12653.5</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 28** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 6

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)	Cambio CGT (%)
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)		
			Vehículo Tipo 3S			
Autopista al Mar 1	Km 2 a Palmitas Cr a Palmitas	6	32190.9	28275.9	3914.9	12.2
	Cangrejo - Anza	13	69746.9	63463.6	6283.3	9.0
	Bolombolo K5+075 Cangrejo	26	110907.0	107388.3	3518.6	3.2
	Salida a Palmitas Km 2 a Palmitas	5	21328.3	19805.8	1522.5	7.1
	Olaya - Cañasgordas	42	225336.1	197931.4	27404.6	12.2
	Sopetrán Santafé de Antioquia	5	26825.7	23563.3	3262.5	12.2
	Anza - Caicedo	20	107302.9	97636.3	9666.5	9.0
	Caicedo Santafé de Antioquia	8	42921.2	39054.5	3866.6	9.0
	Santafé de Antioquia Olaya	8	42921.2	37701.2	5219.9	12.2
	Palmitas - San Jerónimo	7	37556.0	32988.6	4567.4	12.2
	Las Palmas - Palmitas	14	75112.0	65977.1	9134.9	12.2
	San Jerónimo - Sopetrán	13	69746.9	61264.5	8482.4	12.2
	Bolombolo Bolombolo K5+075	3	16095.4	14138.0	1957.5	12.2
Bolombolo K1+085 Bolombolo K5+075	6	32190.9	28275.9	3914.9	12.2	
<b>Total</b>	<b>176</b>	<b>910181.1</b>	<b>817464.5</b>	<b>92716.6</b>	<b>10.2</b>	
Autopista al Mar 2	Mutatá - El Tigre	45	241431.5	212069.4	29362.1	12.2
	Chigorodó - Río Grande	28	119438.3	110912.4	8525.9	7.1
	El Tigre - Chigorodó	12	64381.7	56551.8	7829.9	12.2
	El Tres - Turbo	9	38390.9	35650.4	2740.5	7.1
	Riogrande - El Tres	16	68250.4	63378.5	4871.9	7.1
	La Honda - El Madero	10	42656.5	39611.6	3045.0	7.1
	Cañasgordas - La Honda	10	42656.5	39611.6	3045.0	7.1
	Dabeiba - Mutatá	49	209017.0	194096.7	14920.3	7.1
	Uramita - Dabeiba	18	76781.7	71300.8	5480.9	7.1
	El Madero - Uramita	12	51187.8	47533.9	3654.0	7.1
Turbo - Necoclí	45	161297.4	158034.9	3262.5	2.0	
<b>Total</b>	<b>254</b>	<b>1115489.8</b>	<b>1028751.9</b>	<b>86737.9</b>	<b>7.8</b>	
Transversal del Sisga  El Sisga  El Secreto	Guateque - Las Juntas	13	69746.9	65222.9	4523.9	6.5
	Machetá - Tibiritá	17	91207.5	85291.5	5915.9	6.5
	Tibiritá - Guateque	15	80477.2	75257.2	5219.9	6.5
	Las Juntas - Macanal	12	64381.7	60205.8	4175.9	6.5
	San Luis de Gaceno Agua Clara	27	144858.9	135463.0	9395.9	6.5
	Macanal - Santa María	15	80477.2	75257.2	5219.9	6.5
	Sisga - Machetá	17	91207.5	85291.5	5915.9	6.5
	Santa María San Luis de Gaceno	21	112668.0	105360.1	7307.9	6.5
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>735024.7</b>	<b>687349.4</b>	<b>47675.4</b>	<b>6.5</b>	

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 29** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 7

Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)	Cambio CGT (%)
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)		
			Vehículo Tipo 3S			
Santa Ana Mocoa Neiva	Villa Garzón - Santa Ana	62.5	266603.3	258145.0	8458.2	3.2
	Pitalito - San Juan	60.7	325664.2	296326.3	29337.9	9.0
	San Juan - Mocoa	76.1	408287.5	371506.3	36781.2	9.0
	Garzón - Norte Pitalito	81.2	346371.0	335382.0	10988.9	3.2
	Gigante - Garzón	35.6	151857.2	147039.4	4817.8	3.2
	Neiva Sur - Campo Alegre	21.9	78498.1	75675.4	2822.6	3.6
	Campo Alegre - Gigante	65	277267.4	268470.8	8796.6	3.2
	Norte Pitalito - Sur Pitalito	5	21328.3	20651.6	676.7	3.2
	Sur Pitalito - San Agustín	23	98110.0	94997.4	3112.6	3.2
Mocoa - Villa Garzón	16	68250.4	68250.4	0.0	0.0	
<b>Total</b>		<b>447</b>	<b>2042237.3</b>	<b>1936444.8</b>	<b>105792.5</b>	<b>5.2</b>
Puerta de Hierro Cruz del Vizo Palmar de Varela	Campo de la Cruz Puerto Giraldo	22	93844.3	87145.4	6698.9	7.1
	Puerta de Hierro - Ovejas	13	55453.5	51495.0	3958.4	7.1
	San Cristobal - Arroyo grande	12	51187.8	47533.9	3654.0	7.1
	Carreto - Barranca nueva	22	93844.3	87145.4	6698.9	7.1
	Variante el Carmen Salida a Ovejas	4	17062.6	15844.6	1218.0	7.1
	Ovejas - Variante el Carmen	21	89578.7	83184.3	6394.4	7.1
	Salida a San Cristobal Variante el Carmen	3	12797.0	11883.5	913.5	7.1
	San Jacinto - San Cristobal	7	29859.6	27728.1	2131.5	7.1
	Variante el Carmen San Jacinto	7	29859.6	27728.1	2131.5	7.1
	Malagana - Cruz del Vizo	5	21328.3	19805.8	1522.5	7.1
	Carreto - Malagana	20	85313.0	79223.1	6089.9	7.1
	Arroyo Grande - Carreto	14	59719.1	55456.2	4262.9	7.1
	Barranca nueva - Calamar	10	42656.5	39611.6	3045.0	7.1
	Calamar - Campo de la Cruz	13	55453.5	51495.0	3958.4	7.1
	Puerto Giraldo - Ponedera	12	51187.8	47533.9	3654.0	7.1
Ponedera - Palmar de Varela	10	42656.5	39611.6	3045.0	7.1	
<b>Total</b>		<b>195</b>	<b>831802.2</b>	<b>772425.5</b>	<b>59376.7</b>	<b>7.1</b>
Villavicencio Yopal	Villavicencio - Cumaral	18	64519.0	63214.0	1305.0	2.0
	Cumaral 1 - Cumaral 2	8	28675.1	28675.1	0.0	0.0
	Cumaral - Paratebueno	42	179157.4	169413.5	9743.9	5.4
	Aguazul - Yopal	27	96778.4	94821.0	1957.5	2.0
	Villanueva - Aguaclara	21	75272.1	75272.1	0.0	0.0
	Monterrey - Tauramena	49	209017.0	197649.1	11367.9	5.4
	Paratebueno Barranca de Upía	43	183423.0	173447.2	9975.9	5.4
	Barranca de Upía Villanueva	8	28675.1	28675.1	0.0	0.0
	Aguaclara - Monterrey	21	89578.7	84706.8	4871.9	5.4
	Tauramena - Aguazul	27	115172.6	108908.7	6263.9	5.4
<b>Total</b>		<b>264</b>	<b>1070268.4</b>	<b>1024782.5</b>	<b>45485.9</b>	<b>4.2</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 30** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 8

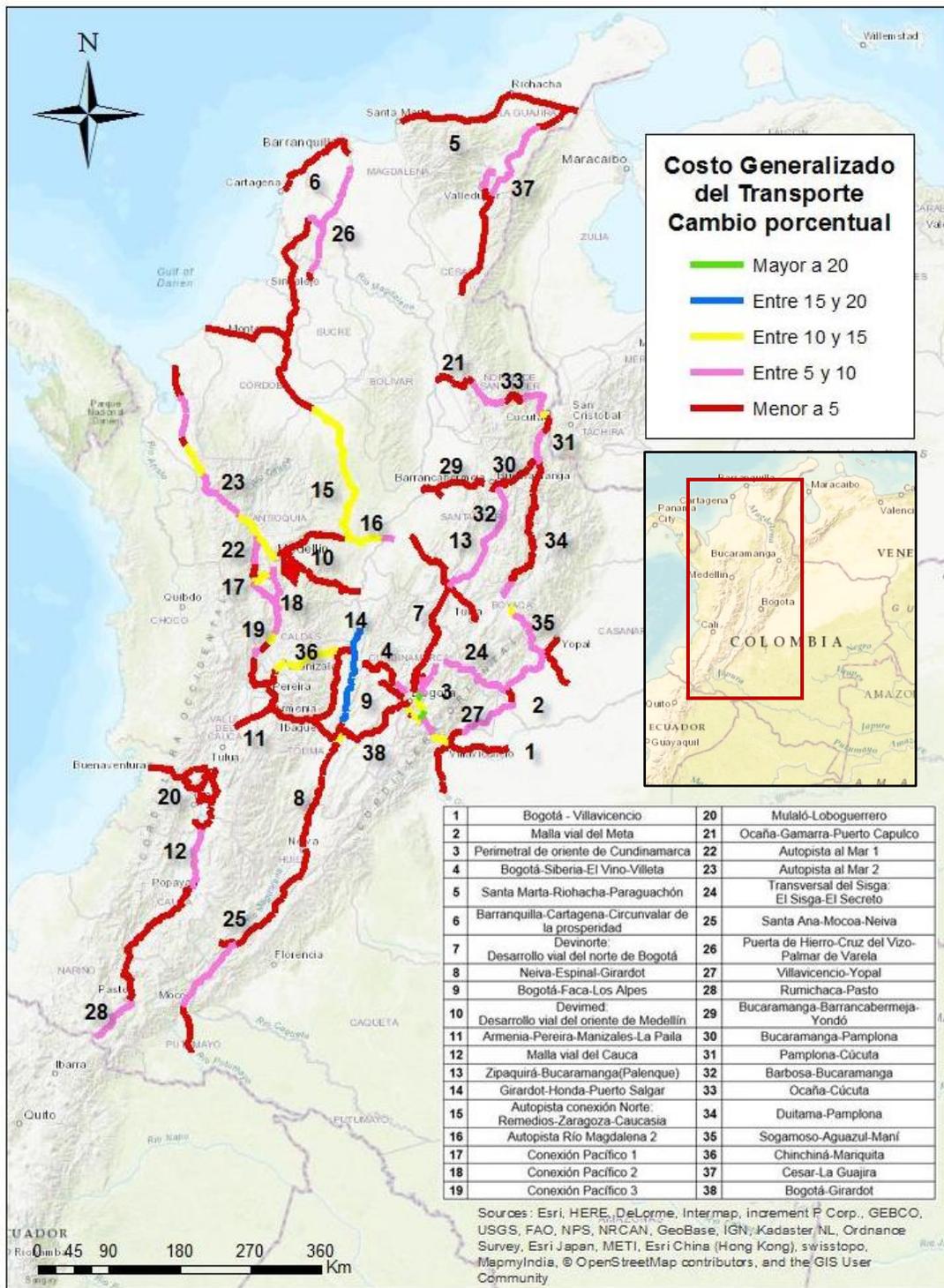
Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)	
			Vehículo Tipo 3S		
Rumichaca Pasto	Córdoba - Ipiales	9	40217.8	37172.9	3045.0
	Ipiales - Rumichaca	6	26811.9	24781.9	2030.0
	Pedregal - Pilcuán	8	35749.2	33042.6	2706.6
	El Tablón - Contadero	17	75967.0	70215.5	5751.6
	Contadero - Córdoba	6	26811.9	24781.9	2030.0
	Pilcuán - El Tablón	3	13405.9	12391.0	1015.0
	Cruz de Amarillo - Tangua	14	73082.0	68345.4	4736.6
	Tangua - Pedregal	9	40217.8	37172.9	3045.0
	Pasto - Cruz de Amarillo	8	35749.2	33042.6	2706.6
<b>Total</b>		<b>80</b>	<b>368012.9</b>	<b>340946.6</b>	<b>27066.3</b>
Bucaramanga Barrancabermeja Yondó	Puente La Paz La Fortuna	30	68250.4	63378.5	4871.9
	La Lizama - La Virgen	20	73082.0	68345.4	4736.6
	La Virgen - Rnacho Camacho La Virgen	14	35843.9	35843.9	0.0
	Puente Guillermo Gaviria	14	55453.5	55453.5	0.0
	La Fortuna - La Lizama	10	12797.0	12797.0	0.0
	La renta - Marta	7	39054.5	39054.5	0.0
	Portugal - La Renta	5	120174.5	99028.9	21145.6
	Lebrija - Portugal	16	29859.6	27728.1	2131.5
	Puente Guillermo Gaviria Yondó	14	75112.0	75112.0	0.0
<b>Total</b>		<b>130</b>	<b>509627.4</b>	<b>476741.8</b>	<b>32885.6</b>
Bucaramanga Pamplona	Bucaramanga - Floridablanca	13.5	57586.3	55759.3	1827.0
	Mutiscua - Pamplona	25	106641.3	106641.3	0.0
	Bucaramanga - El Picacho	54.5	232478.0	232478.0	0.0
	Cuestaboba - Mutiscua	30	127969.6	127969.6	0.0
	El Picacho - Cuestaboba	10.1	43083.1	43083.1	0.0
<b>Total</b>		<b>133.1</b>	<b>567758.3</b>	<b>565931.3</b>	<b>1827.0</b>
Pamplona Cúcuta	Peaje Los Acacios - Cúcuta	10.9	39069.8	39069.8	0.0
	Pamplona - El Diamante	25	130503.7	122045.4	8458.2
	El Diamante Peaje los Acacios	26	135723.8	126927.2	8796.6
<b>Total</b>		<b>61.9</b>	<b>305297.3</b>	<b>288042.5</b>	<b>17254.8</b>
Barbosa Bucaramanga	Barbosa - Oiba	69	370194.9	346183.3	24011.7
	Oiba - Bucaramanga	146	783311.0	732503.7	50807.3
	Oiba - Bucaramanga	10	53651.4	50171.5	3480.0
	Giron - Palenque	9	32259.5	32259.5	0.0
	Floridablanca - Girón	4	14337.5	14337.5	0.0
<b>Total</b>		<b>238</b>	<b>1253754.5</b>	<b>1175455.5</b>	<b>78299.0</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.

**Tabla 31** Evaluación y cambios en costo generalizado de transporte - Parte 9

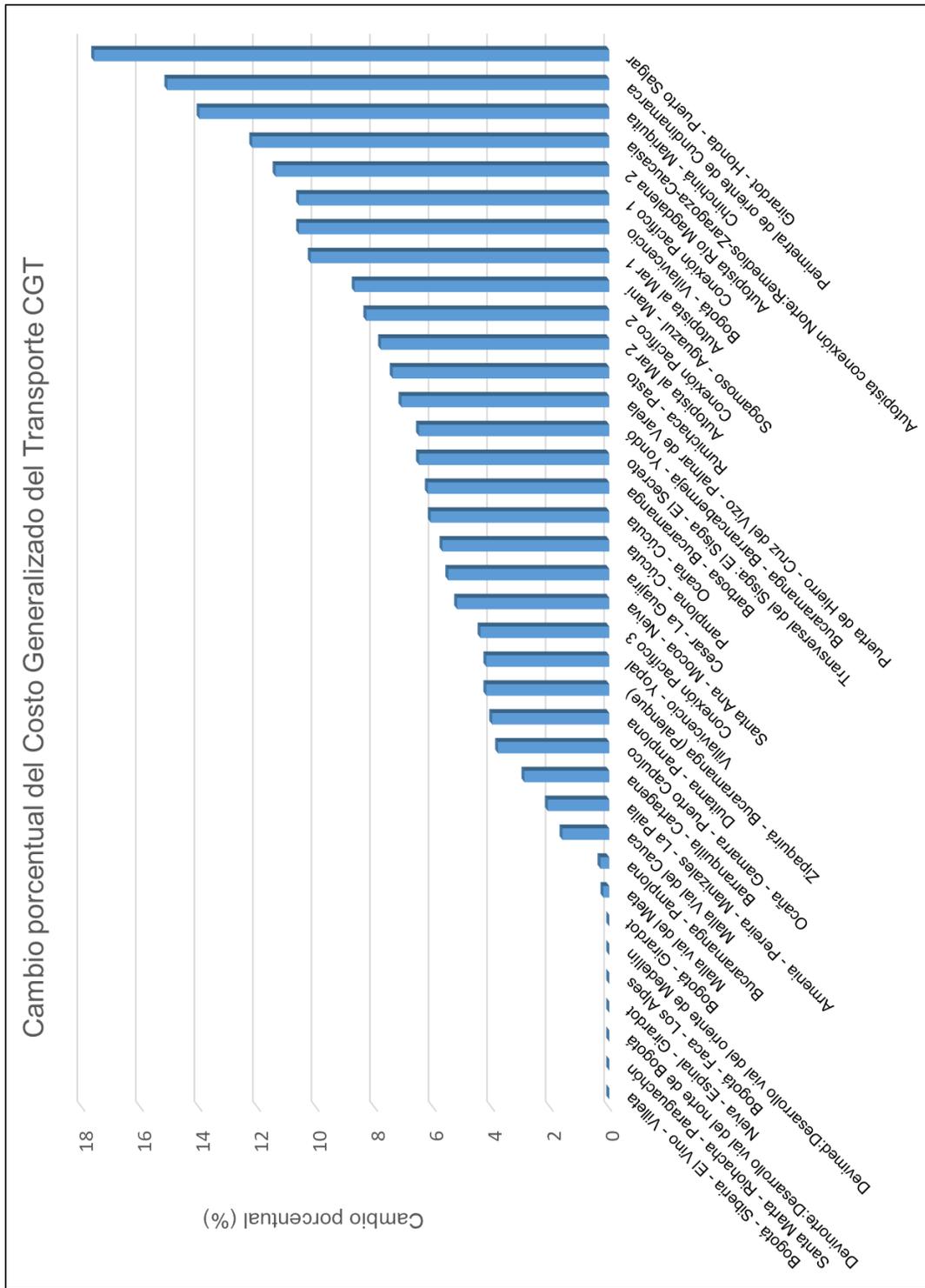
Proyecto	Tramo	Longitud (Km)	CTG	CGT	Cambio CGT (COP\$)	Cambio CGT (%)
			escenario base (COP\$)	escenario futuro (COP\$)		
			Vehículo Tipo 3S			
Ocaña Cúcuta	Río de Oro - Ocaña	7	48071.1	46650.1	1421.0	3.0
	Chapinero - Alto El Pozo	56	300448.1	276826.6	23621.5	7.9
	Ocaña - Chapinero	18	84306.6	78042.7	6263.9	7.4
	Alto El Pozo - Sardinata	59	316543.5	307988.6	8554.9	2.7
	Sardinata - El Zulia	57	305813.2	283357.7	22455.6	7.3
	El Zulia - Cúcuta	5.8	31117.8	27333.4	3784.5	12.2
<b>Total</b>		<b>202.8</b>	<b>1086300.3</b>	<b>1020199.0</b>	<b>66101.3</b>	<b>6.1</b>
Duitama Pamplona	Santa Rosita - Soata	33	172264.8	165565.9	6698.9	3.9
	Belén - Santa Rosita	34	177485.0	170583.1	6901.9	3.9
	Duitama - Belén	34	177485.0	165981.8	11503.2	6.5
	Capitanejo - Málaga	35	187780.0	182705.1	5074.9	2.7
	Soata - Capitanejo	34	177485.0	170583.1	6901.9	3.9
	Presidente - Pamplona	70	365410.2	351200.4	14209.8	3.9
	Málaga - Presidente	68	354969.9	341166.1	13803.8	3.9
<b>Total</b>		<b>308</b>	<b>1612879.9</b>	<b>1547785.4</b>	<b>65094.5</b>	<b>4.0</b>
Sogamoso Aguazul Maní	Aguazul - Mani	53	195095.8	186130.0	8965.7	4.6
	Toquilla - Pajarito	37	205663.6	185634.5	20029.1	9.7
	Pajarito - Aguazul	32	177871.2	160548.8	17322.4	9.7
	El crucero - Toquilla	36	200105.1	180617.4	19487.7	9.7
	Sogamoso - El Crucero	16	76911.7	68250.4	8661.2	11.3
<b>Total</b>		<b>174</b>	<b>855647.3</b>	<b>781181.1</b>	<b>74466.2</b>	<b>8.7</b>
Chinchiná Mariquita	Chinchiná - Manizales	27	129788.4	111518.7	18269.8	14.1
	Fresno - Mariquita	23	110560.5	94997.4	15563.1	14.1
	Puente La Libertad - Padua	65	312453.6	268470.8	43982.8	14.1
	Manizales Puente La Libertad	6	33350.8	29290.9	4059.9	12.2
	Padua - Fresno	14	67297.7	57824.5	9473.2	14.1
<b>Total</b>		<b>135</b>	<b>653451.1</b>	<b>562102.3</b>	<b>91348.8</b>	<b>14.0</b>
Cesar La Guajira	Valledupar - Badillo	38	169808.7	156952.2	12856.5	7.6
	La Paz - San Roque	140	597191.3	578244.9	18946.4	3.2
	La Paz - Valledupar	14	53429.4	51534.7	1894.6	3.5
	Cuestecitas - Distracción	53	236838.4	218907.0	17931.4	7.6
	Distracción - La Paz	77	344086.0	318034.7	26051.3	7.6
<b>Total</b>		<b>322</b>	<b>1401353.8</b>	<b>1323673.5</b>	<b>77680.3</b>	<b>5.5</b>
Bogotá Girardot	Fusagasugá - Melgar	45	219681.8	219681.8	0.0	0.0
	Melgar - Girardot	32	156218.1	156218.1	0.0	0.0
	Chusacá - Silvania	35	170863.6	170863.6	0.0	0.0
	Bogotá - Chusacá	25	122045.4	122045.4	0.0	0.0
	Silvania - Fusagasugá	8	39054.5	39054.5	0.0	0.0
<b>Total</b>		<b>145</b>	<b>707863.5</b>	<b>707863.5</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

Fuente: Realización propia. Nota: El separador de decimales utilizado es el **punto**, por efectos de manejo de software.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18 Cambio porcentual de costo generalizado de transporte



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 19** Comparativo del cambio porcentual de costo generalizado de transporte

#### **5.4. Efecto 3: Cambios en Cohesión Territorial**

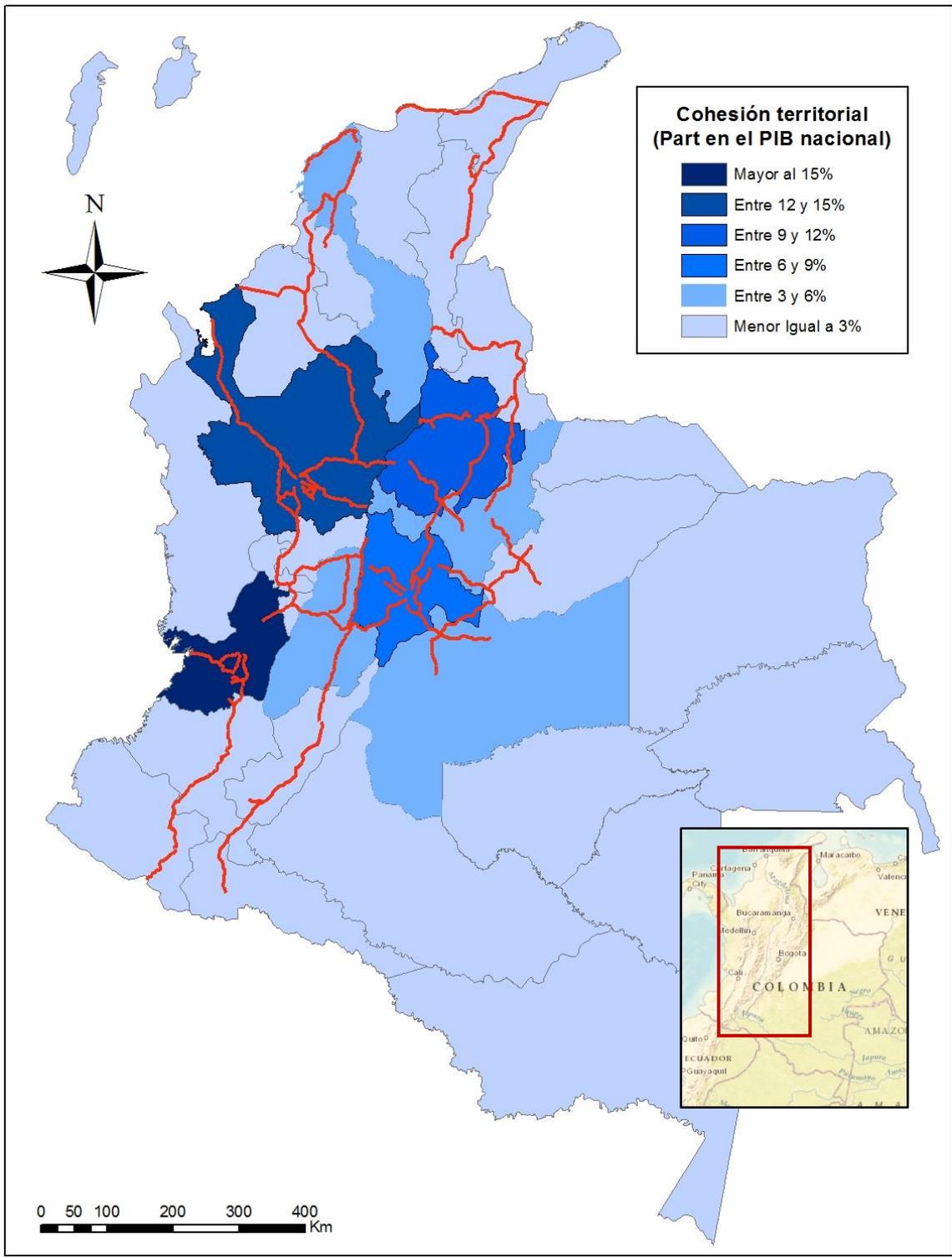
Una vez cuantificados los valores de accesibilidad, es importante conocer su impacto regional en los departamentos de Colombia. La distribución espacial de la Accesibilidad, conocida como cohesión territorial será importante para analizar los efectos de los proyectos viales de 4G en la dinámica de producción interna de cada región y su aporte en el contexto nacional.

De esta manera, es importante tener en cuenta dos variables con el objetivo de comparar un escenario base y un futuro de cohesión considerando la puesta en marcha de mejoramiento y construcción de corredores viales. La primera variable para el análisis es la accesibilidad representada por tiempos de viaje en cada uno de los enlaces de la red vial actual y futura; y la segunda variable, está relacionada con parámetros sociales, económicos, industriales, de educación u otros en función del objeto de la investigación.

En este orden de ideas, para nuestro caso de estudio la accesibilidad y el Producto Interno Bruto PIB representado como el porcentaje de aporte al PIB nacional, serán los parámetros utilizados para cuantificar la cohesión territorial esperada en los diferentes departamentos. Lo anterior, basado en una revisión del estado del arte donde la producción interna es la variable de mayor uso e interpretación desde el punto de vista económico y de desarrollo industrial en un contexto de evaluación de escenarios.

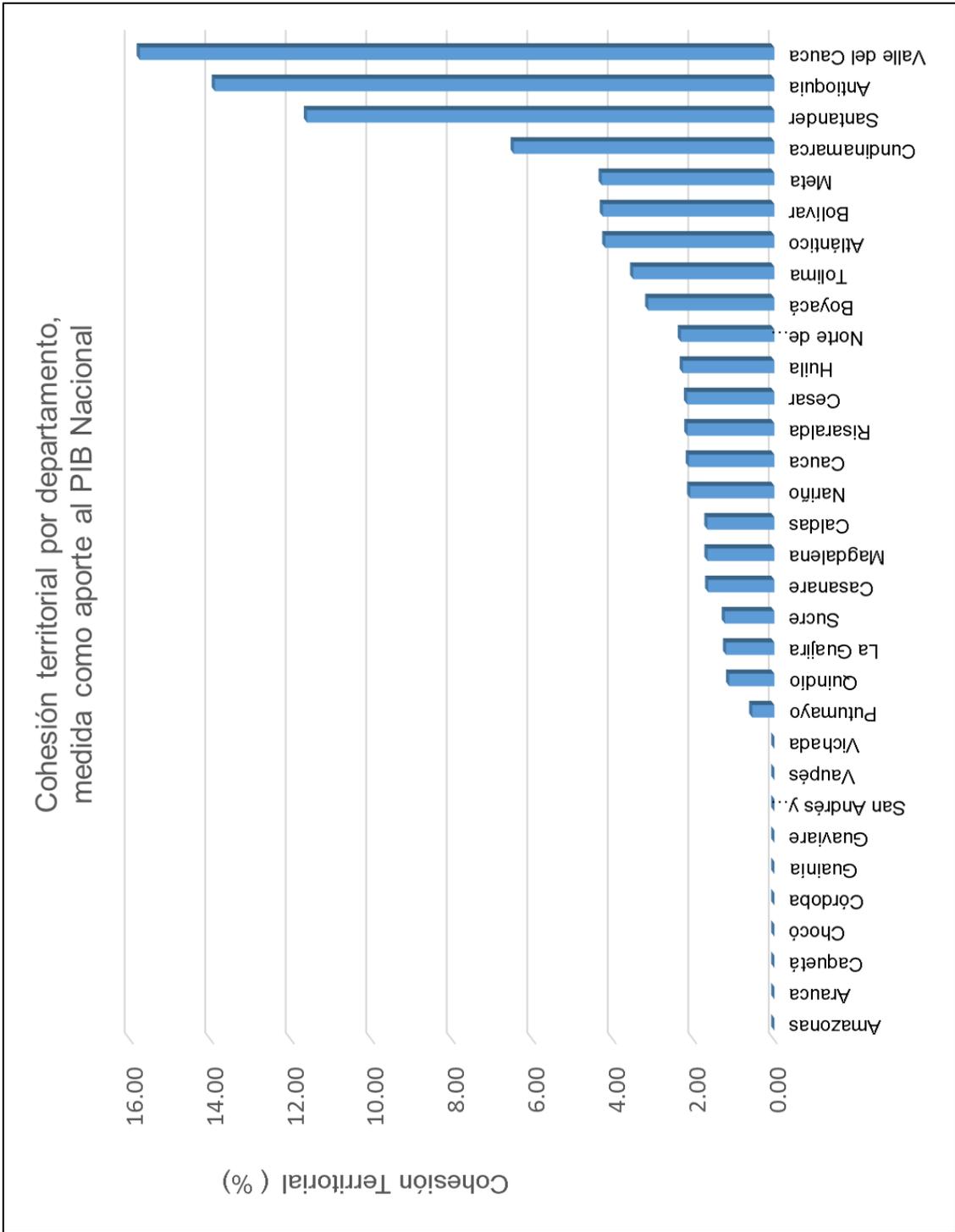
Adicionalmente, es importante reconocer que el ahorro en tiempos de viaje afecta directamente la dinámica comercial de las regiones, donde la salida de productos e igualmente la recepción de materias primas para la producción tendrá un impacto positivo esperado. Así, es importante reconocer los departamentos con mayor y menor cohesión territorial futura, en los cuales el impacto en su dinámica comercial y de producción será positiva; e igualmente aquellos departamentos que a pesar del desarrollo de los diferentes proyectos no experimentarán un beneficio directo con relación a la distribución del ahorro en tiempos de viaje de la actividad de transporte en carretera.

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación del efecto de cohesión territorial para los departamentos de Colombia. En función de los valores de cohesión, se establecieron seis intervalos para identificar valores significativos en zonas de alto impacto positivo debido a los cambios en accesibilidad y su aporte al PIB nacional, y aquellas zonas donde la relación de accesibilidad y producción interna no es favorable.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 20** Distribución de cohesión territorial en Colombia



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 21** Cohesión territorial en el marco departamental

## **5.5. Efecto 4: Cambios en Efectos de desbordamiento**

Los efectos de desbordamiento miden la contribución del mejoramiento de la infraestructura en una red de transporte. Así mismo, estos efectos pueden traducirse en: competitividad, eficiencia de la red de transporte, desarrollo regional, crecimiento y desarrollo económico (López, Monzón de Cáceres, Ortega Pérez & Mancebo Quintana, 2008).

Teniendo en cuenta la anterior definición, desarrollada en la revisión del estado del arte, podemos identificar cuatro elementos importantes al momento de identificar efectos de desbordamiento: eficiencia de la red de transporte, desarrollo regional, crecimiento y desarrollo económico.

Inicialmente, debemos comprender una red de transporte eficiente, como un conjunto de soluciones al servicio del usuario de los corredores viales. Teniendo en cuenta lo anterior, debemos evaluar el conjunto de proyectos 4G incentiva la solución eficiente del transporte. La variable directamente relacionada con eficiencia del transporte es el tiempo de viajes.

Para el caso de estudio, se presenta un mejoramiento promedio de la red de transporte por carretera del 25,5% aproximadamente. Lo anterior, calculado a partir de la diferencia de tiempos de viaje del total de enlaces modelados para un escenario base y futuro. Sin embargo, dentro del conjunto de proyectos podemos identificar valores de desviación estándar considerables de 18% aproximadamente.

De esta manera, podemos pasar de un cambio porcentual de cero en proyectos como Bogotá-Girardot, donde la capacidad presentará variaciones importantes por el aumento de dos a tres carriles por sentido, pero la velocidad operativa se mantendrá constante respecto a su valor actual; hasta cambios porcentuales de accesibilidad de 51%, como es el caso del proyecto Perimetral de Oriente de Cundinamarca, donde las intervenciones proyectadas aumentarán la velocidad de viaje a más del doble que la actual y por ende el tiempo para conectar origen-destino disminuirá considerablemente. A continuación, se presenta un diagrama de cambios en la accesibilidad por proyecto y accesibilidad promedio.

Así, podemos identificar regiones de Colombia que se verán beneficiadas por los ahorros en tiempos de viaje, diferentes a las zonas directamente relacionadas con los proyectos, estas son: Huila, Tolima y Caldas, en la zona centro en general; y Bolívar, Sucre y Chocó en la zona norte y occidente del país. Lo anterior, respaldado por la identificación

de zonas donde los parámetros de cohesión territorial tienen un comportamiento significativo y donde se espera entonces que los efectos de desbordamiento se presenten.

Respecto al crecimiento y desarrollo económico en las regiones, son identificados como generadores de este efecto a los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca y Santander. Lo anterior, teniendo en cuenta los parámetros de cohesión territorial futuro en función de la producción de cada Departamento. Se espera entonces que, en las regiones periféricas, se generen beneficios producto del desarrollo económico resultado de la inversión en infraestructura vial. Lo anterior, basados en la evidencia de una relación directa entre estos dos aspectos citados con anterioridad en el desarrollo de la investigación.

En general, podemos concluir que los efectos de desbordamiento esperados responden a un efecto de desarrollo periférico alrededor de las zonas con mayores beneficios en su actividad económica y dinámica comercial producto de la inversión en los corredores 4G. Estos efectos indirectos sobre las regiones deberán complementarse con inversiones futuras en la búsqueda de desarrollo regional y la integración definitiva entre los diferentes departamentos donde se ubican los principales centros de producción y consumo.

## **5.6. Discusión y análisis de resultados**

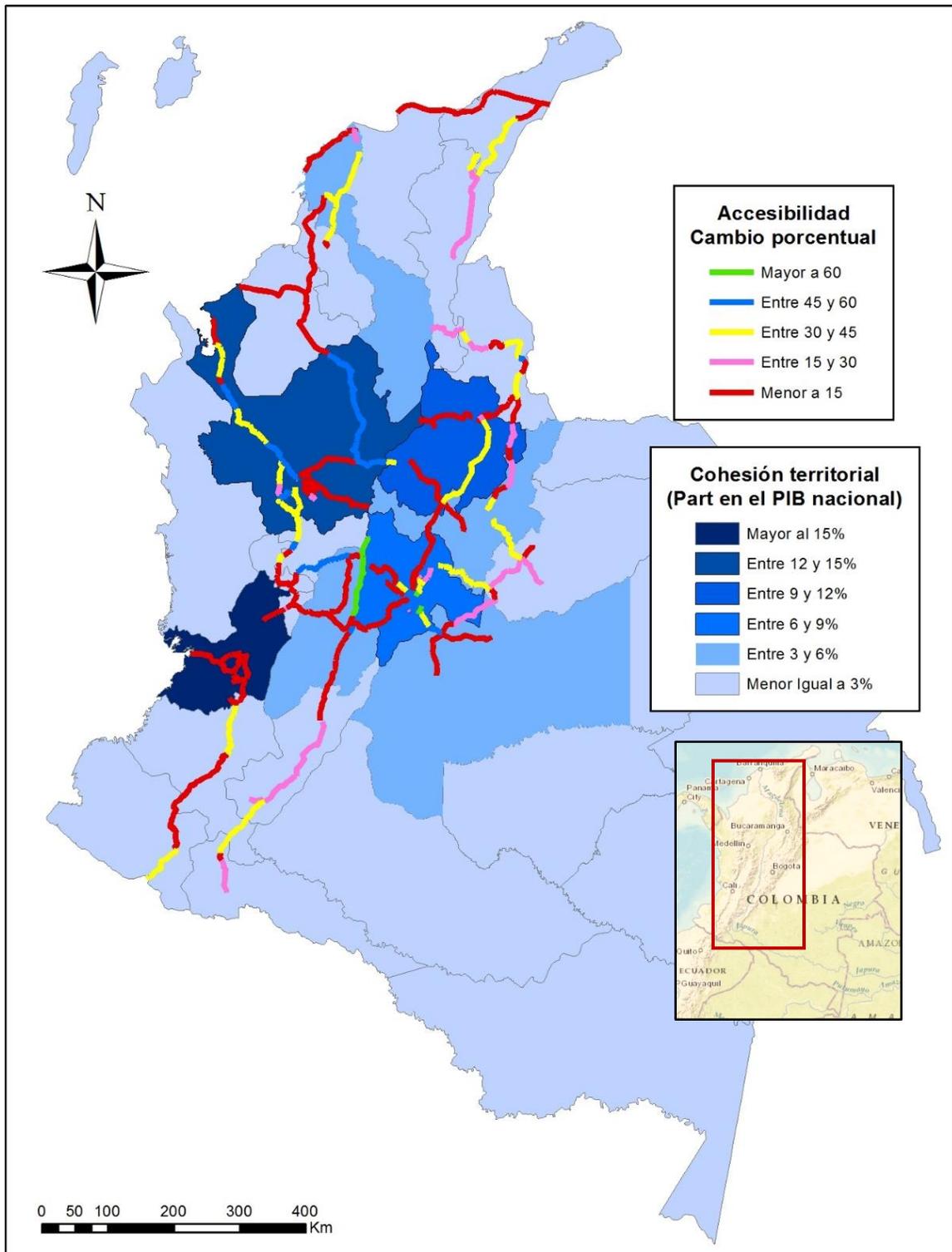
Una vez calculados los cuatro efectos relacionados con la cuantificación y descripción del impacto de los proyectos viales de 4G, es importante analizar en un marco de múltiples variables el comportamiento conjunto de los efectos. De esta manera podemos identificar que existe una relación entre los cambios de accesibilidad, costo generalizado de transporte, cohesión territorial y efectos de desbordamiento. Estas relaciones serán expuestas mediante mapas utilizando escalas de colores, rangos de comportamiento de variables e intervalos de resultados.

En cada mapa, puede identificarse una relación espacial entre variables que tiene como resultado la identificación de regiones con mayor y menor impacto en un escenario futuro de puesta en marcha de los proyectos de 4G.

Lo anterior, tiene como resultado el reconocimiento de un grupo de corredores con un comportamiento esperado de una o más variables en un mismo espacio geográfico, que para nuestro caso es cada departamento de Colombia.

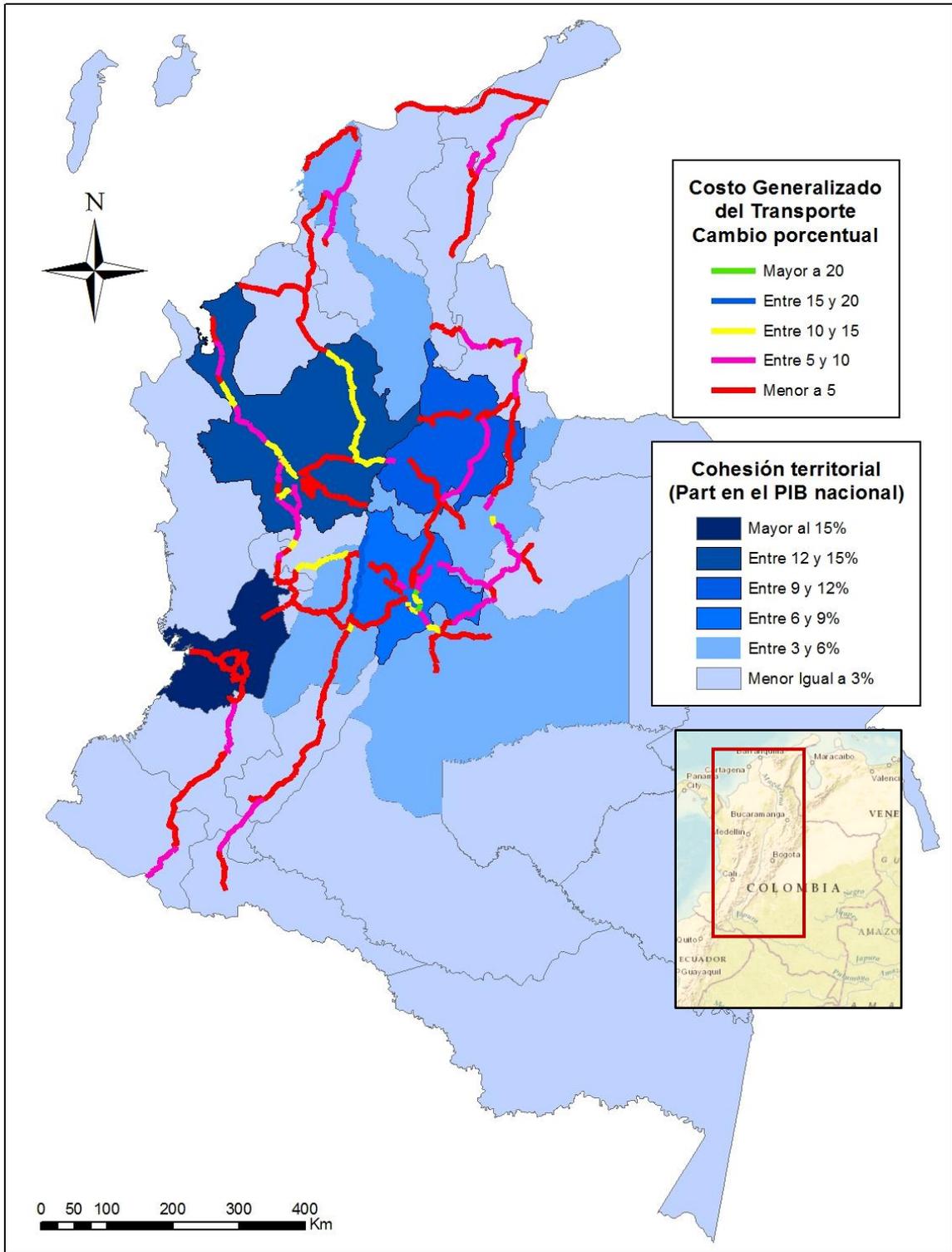
A continuación, se presenta el conjunto de mapas mencionados anteriormente. Inicialmente, los cambios en accesibilidad y cohesión territorial; posteriormente, los cambios en costo generalizado de transporte y cohesión territorial; y finalmente, una combinación de accesibilidad y costos de transporte con intervalos conjuntos del comportamiento entre variables en un marco de cohesión territorial.

Como resultado significativo, entre otros, podemos establecer los proyectos de 4G que deben desarrollarse de manera prioritaria teniendo en cuenta su alto impacto en la dinámica comercial, competitividad y aporte al desarrollo económico e industrial de las regiones y los departamentos. Así mismo y en contraste con el resultado anterior, podemos identificar los departamentos con bajo impacto y objeto de fortalecimiento mediante inversiones futuras en materia de infraestructura.



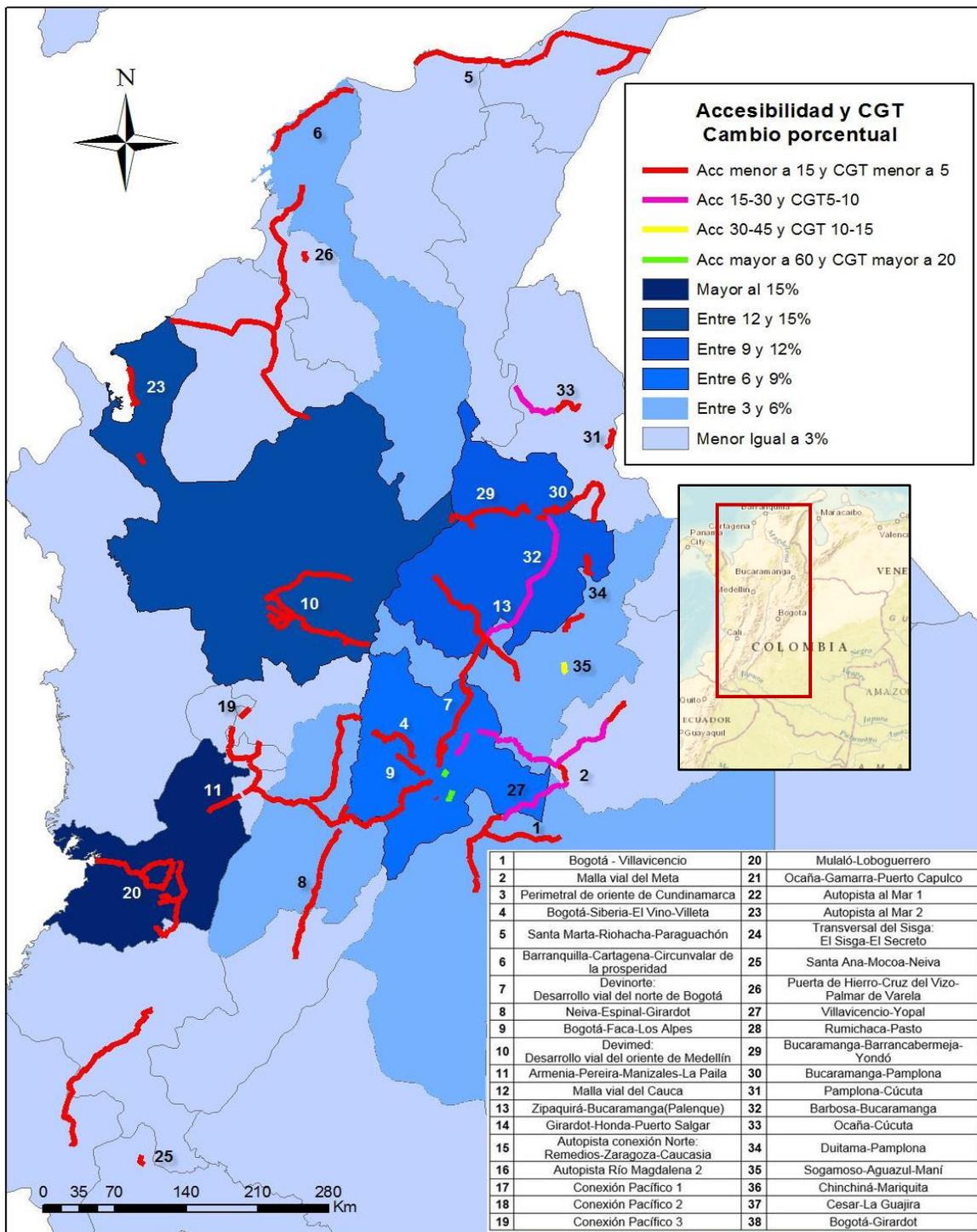
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 22** Cohesión territorial y cambio porcentual de la accesibilidad



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 23** Cohesión territorial y cambio del costo generalizado de transporte



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 24** Cohesión, cambio de accesibilidad y costo generalizado de transporte

### **5.6.1. Plan Maestro de Transporte Intermodal**

El Gobierno Nacional, en un trabajo intersectorial y en coordinación con entidades técnicas ha estructurado el Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) como una estrategia a largo plazo en materia de competitividad, accesibilidad y fortalecimiento económico de Colombia en la región.

El PMTI es un esfuerzo de integración y conexión del territorio Nacional teniendo en cuenta sus condiciones geográficas especiales y su alto potencial de transporte por medios complementarios al carretero. Debemos tener presente entonces que las condiciones geográficas y de topografía de Colombia requieren una combinación de soluciones que conlleven a la estructuración de un plan Maestro de movilidad de carga en un entorno de competitividad regional y comercio exterior.

Teniendo en cuenta lo anterior, debemos considerar que, para lograr este objetivo, no solamente la inversión en infraestructura vial es significativa, sino también el desarrollo y fortalecimiento del modo terrestre férreo, aéreo, marítimo y fluvial. Es importante tener en cuenta que la capacidad de carga y su relación con la demanda energética, emisiones, entre otros, ubica a ciertos modos sobre otros y el alcance de este tipo de proyectos debe ser prioritario.

Igualmente, cabe resaltar que en Colombia existe una oportunidad importante de fortalecer el conjunto de modos de transporte existentes donde más del 95% de la carga se mueve por modo terrestre, desconociendo las cualidades de utilizar modos como el fluvial y marítimo.

Como un primer paso, y en miras a afianzar la dinámica comercial y de transporte en modo terrestre, el programa de 4G surge como una estrategia de desarrollo económico donde los actuales corredores alcanzarán un nivel superior en términos de especificaciones técnicas, tiempos de viaje, costo generalizado del transporte, accesibilidad, conectividad, entre otros.

En términos de tiempos de viaje, las vías de 4G representan a futuro una disminución cercana al 50% en algunos casos. En este orden de ideas, los proyectos 4G representarán un impacto positivo en la dinámica de la cadena logística del país, teniendo en cuenta que la variable temporal relacionada con el transporte de mercancías es clave para las mediciones de competitividad de las regiones.

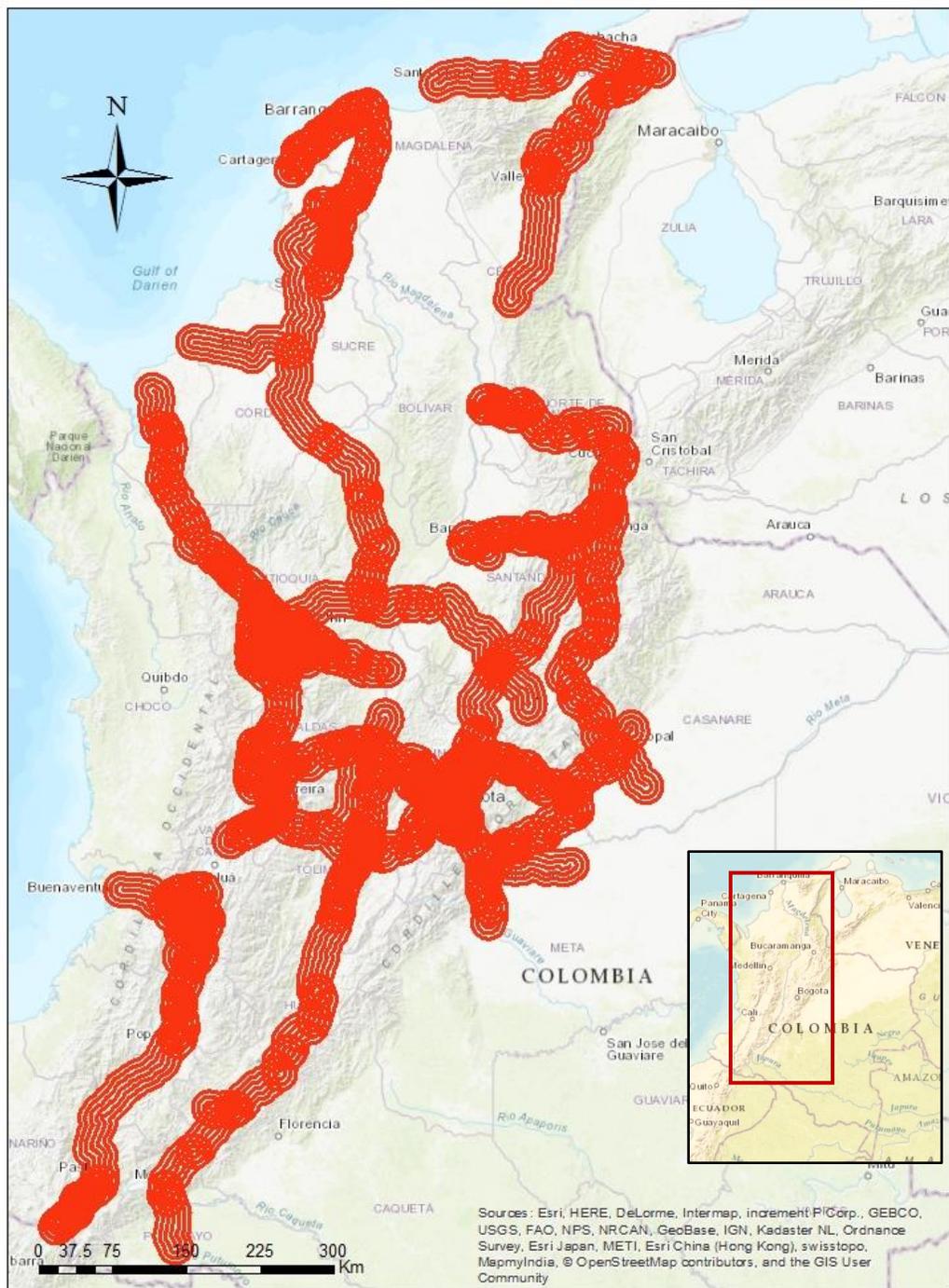
Por ejemplo, se espera que en departamentos como Boyacá y Nariño, el porcentaje de exportaciones aumente más de cinco puntos producto de la modernización de la red vial

actual del país. Este es solo uno de los impactos positivos en la cadena logística con impacto directo en la dinámica económica de las regiones.

Sin embargo, en un plan intermodal de transporte, la solución a la movilidad de personas, bienes y servicios debe ser integral y debe involucrar todos los modos posibles en función de las características geográficas de las regiones. Lo anterior, beneficiará a todas las partes involucradas en la cadena logística, incluyendo también el costo de commodities y su precio final al consumidor.

Finalmente, podemos concluir que el desafío de alcanzar la puesta en marcha del PMTI es un compromiso que involucra no solamente la modernización de la red vial actual y/o a la creación de nuevos corredores, sino a la revisión y proyección de intervenciones en todos los modos de transporte en función de una dinámica más eficiente y de mayores beneficios económicos que posicione a Colombia en igualdad de condiciones en un mercado de competencia, productividad y desarrollo.

## 5.6.2. Cobertura de la red vial Nacional y próximas generaciones



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25 Cobertura de los proyectos 4G - radio 10Km

La cobertura actual de la red vial nacional es el producto de tres décadas de generaciones viales, desde la primera generación de concesiones creada a comienzos de los años 90 en el Gobierno del Expresidente Cesa Gaviria; hasta la tercera generación de concesiones, creada a comienzos del nuevo milenio. A pesar de este conjunto de esfuerzos económicos e institucionales, es normalmente cuestionada la situación de rezago en materia de infraestructura que a pesar de la puesta en marcha del conjunto de proyectos 4G, tiende a mantenerse

El término rezago es utilizado para caracterizar la diferencia entre el desarrollo en infraestructura esperado con el paso del tiempo en comparación con la situación actual. Según cifras del Ministerio de Industria y Comercio “Mientras en Colombia por cada millón de habitantes hay 350 kilómetros de vías, en Chile esa relación es de 860 kilómetros y en México de 900 kilómetros”. Adicionalmente, en materia de competitividad, según el reporte Global de Competitividad del Foro Económico Mundial del año 2014-2015, Colombia ocupa la posición 66 en un listado de 144 países.

Lo anterior, es un escenario que debe superarse no solamente por temas de rezago sino de competitividad en la región con un efecto directo sobre el crecimiento económico y desarrollo industrial en nuestro país. El planteamiento de la quinta generación de concesiones (5G) será el primer paso para disminuir el atraso en cobertura de carreteras y para aumentar la relación de kilómetros de vías por cada millón de habitantes.

Los proyectos 5G se plantearían hacia el año 2025 una vez haya finalizado la mayoría de las fases de construcción y comience la operación y retribución de inversión de los actuales proyectos concesionados bajo los proyectos 4G.

Este conjunto de corredores debe estar orientados hacia la cobertura de la región oriental y sur de Colombia, generando condiciones adecuadas para la entrada de productos por la frontera con Brasil, Perú y Ecuador. Lo anterior, basados en un mapa de cobertura de la red vial futura teniendo en cuenta los proyectos 4G con un radio de 10Km, ver figura 17. Los principales departamentos beneficiados por este nuevo conjunto de corredores serían: Vichada, Guainía, Meta, Guaviare, Vaupés, Huila, Caquetá, Amazonas, Cauca, Nariño y Putumayo.

El trazado de los proyectos será el resultado de un análisis de correlación con el aumento del Producto Interno Bruto de estos departamentos y su posibilidad de conectividad con los actuales centros de producción y consumo de la zona centro, oriente

y norte de Colombia. Cabe anotar que el rango de participación promedio en el PIB total de Colombia del conjunto de departamentos propuesto es del 0,88%<sup>12</sup>.

Así, y teniendo en cuenta la relación que existe entre desarrollo económico e inversión en infraestructura, se espera que los proyectos de 5G representen un aporte significativo en la productividad, desarrollo económico y competitividad de las regiones. No podemos perder de vista que la planeación de inversión debe ser un proceso a largo plazo que involucre a instituciones técnicas y administrativas en la conformación del escenario más favorable posible con limitaciones de recursos y optimizando en todo caso la relación beneficio-costos de los nuevos corredores. Las experiencias de la planeación y puesta en marcha de los proyectos 4G sin lugar a dudas complementa de forma adecuada la curva de aprendizaje que ha caracterizado las generaciones de concesiones desde su nacimiento hasta la actualidad.

### **5.6.3. Caso especial: Proyecto Mulaló-Loboguerrero**

El mejoramiento de corredores viales con el desarrollo de las concesiones 4G, solamente cuenta con un único proyecto con trazado totalmente nuevo, la vía Mulaló-Loboguerrero, en contraste con los demás corredores donde las especificaciones técnicas de la vía actual y su capacidad serán aumentadas sin tener en cuenta en su alcance una vía totalmente nueva entre las ubicaciones de origen y destino.

El proyecto Mulaló-Loboguerrero ubicado en el Valle del Cauca, contribuirá al mejoramiento de la logística de la zona industrial del valle del Cauca en su salida hacia el Océano Pacífico. La nueva vía, representará un avance significativo en la calidad de la infraestructura entre puntos de producción y consumo, mejorando la capacidad, conectividad y tiempos de viaje.

En la zona donde se desarrolla el proyecto, actualmente existen dos corredores para llegar a Loboguerrero, buscando salida hacia el puerto de Buenaventura y el Océano Pacífico. La primera de ellas con una longitud promedio de 61Km entre Cali y su paso por

---

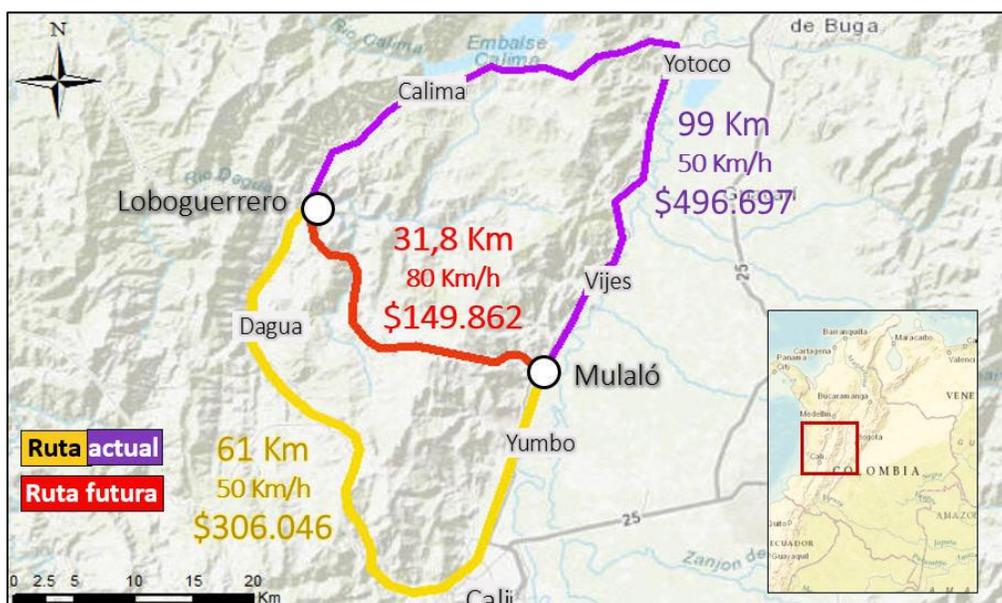
<sup>12</sup> Cifra calculada según el informe: Cuentas Departamentales, Producto Interno Bruto versión preliminar 2016. Publicado el 02 de junio de 2017 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Dagua; y la segunda ruta de aproximadamente 99Km de longitud, entre Mulaló y su paso por las poblaciones de Yotoco y Calima (ver Figura 26).

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación, el proyecto generará un ahorro aproximado en el costo generalizado de transporte por Kilómetro de 70% y 51% para la ruta con origen en Cali y Mulaló, respectivamente. Lo anterior, teniendo en cuenta que por medio de las vías actuales, se debe recorrer alrededor de cien kilómetros a una velocidad promedio de 50 Km/h entre Yumbo, Yotoco y Loboguerrero; en comparación con la vía nueva que proyecta un recorrido de 31,8 Km con una velocidad de diseño de 80 Km/h.

Adicionalmente, se espera que sus efectos de desbordamiento generen un impacto positivo en el precio de los productos al consumidor, teniendo en cuenta que el costo de transporte es uno de los valores añadidos de mayor impacto sobre el costo final de los productos, principalmente en aquellos de bajo valor como los del sector agro (Tong et al., 2013b).

A continuación, se muestra el esquema general del proyecto Mulaló-Loboguerrero, las rutas que existen actualmente en la zona, distancias origen-destino y costo generalizado de transporte para cada una de ellas.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 26** Proyecto Mulaló - Loboguerrero

La zona de ejecución de las obras se caracteriza adicionalmente por presentar un alto PIB departamental, y así mismo una cohesión territorial mayor al 15% de incremento

en el aporte al PIB nacional en un escenario futuro. Lo anterior, categoriza a la región con un alto potencial de desarrollo y crecimiento económico teniendo en cuenta el conjunto de externalidades positivas esperadas debido a la inversión en la zona.

Lo anterior, en adición a porcentajes muy altos de ahorro en costos de transporte e incremento en la velocidad de operación de la vía generará un efecto de atracción de usuarios reflejado en un aumento en volúmenes vehiculares en la región de desarrollo del nuevo corredor. Así, se espera un aporte significativo en el desarrollo del departamento y su industria, partiendo de la mejora significativa en la red del Valle del Cauca.

Finalmente, se comprueba la conveniencia del corredor Mulaló-Loboguerrero en las metas y políticas de Estado de crecimiento y desarrollo económico producto del desarrollo de los proyectos 4G, en especial del único trazado nuevo del conjunto total de proyectos.

## 6. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Inicialmente concluimos que, desde un enfoque de accesibilidad, costo generalizado de transporte, cohesión territorial y efectos de desbordamiento, los proyectos viales 4G representan un impacto positivo en el contexto económico y de desarrollo del país.

En una primera fase del proceso investigativo, consideramos que se realizó satisfactoriamente la evaluación del impacto de los proyectos viales 4G, respecto a los cambios en la accesibilidad y los costos de transporte de mercancías en Colombia.

### **Evaluación de efectos y análisis de impacto**

Respecto a los cambios en accesibilidad, medida como el tiempo de viaje para cada proyecto y sus tramos, podemos mencionar que en la red vial nacional se presenta un impacto positivo de consideración con ahorros en tiempos de viaje que sin duda beneficiará el contexto de comercio interno, prestación de servicios y transporte de productos entre centros de producción y consumo. Lo anterior, modifica la distribución espacial del territorio nacional y en general disminuye la percepción de distancia en la red vial nacional, facilitando procesos de productivos, industriales; generando mayores facilidades para el desarrollo de las regiones y el fortalecimiento de los procesos actuales de crecimiento industrial y alcance de competitividad según políticas económicas y planes de gobierno.

Respecto al costo generalizado de transporte de mercancías, podemos concluir que el modelo de costos aplicado para todos los enlaces del sistema vial de vías de primera a cuarta generación de concesiones presentó un comportamiento esperado. Se pudo identificar los tramos y proyectos de mayor y menor impacto, las zonas donde los beneficios tienen mayor influencia y aquellos donde a pesar del desarrollo de los proyectos no presentan ningún tipo de efecto directo.

También, los parámetros de cohesión territorial aportan un nuevo medio para el planteamiento desde un enfoque regional de políticas públicas orientadas al desarrollo industrial y de crecimiento económico general de los departamentos, donde se incentive aún más la situación actual de las regiones pioneras; y adicionalmente, se identifiquen aquellas donde deben centrarse los esfuerzos para explotar su potencial productivo y de desarrollo en un contexto de comercio internacional y competitividad en el continente.

En complemento al efecto de accesibilidad y teniendo en cuenta que el mejoramiento de una red de transporte no necesariamente presenta un único impacto directo sobre la zona donde se desarrollan, se llevó a cabo la descripción en un marco conceptual de los cambios en cohesión territorial esperados en un escenario futuro. En este

aspecto, se identifica una región periférica de departamentos donde no existe un efecto de cohesión territorial considerable y por lo tanto se espera que no se presenten efectos de desbordamiento.

En conjunto, el análisis de los cuatro efectos de los proyectos viales de 4G da a identificar zonas del país donde deben centralizarse los esfuerzos del gobierno e instituciones técnicas que apoyan el diseño de políticas públicas para la inversión en infraestructura. Estos proyectos deben ser prioritarios. Lo anterior, partiendo del principio de desarrollo mediante inversión, donde la zona sur oriental de Colombia debe ser parte de próximas generaciones y de la implementación de la segunda fase del PMTI con el fin de explotar de manera multimodal las facilidades de transporte existentes e integrar al país en función de su topografía, recursos naturales y características geográficas especiales.

### **Planteamiento de proyectos prioritarios de 4G**

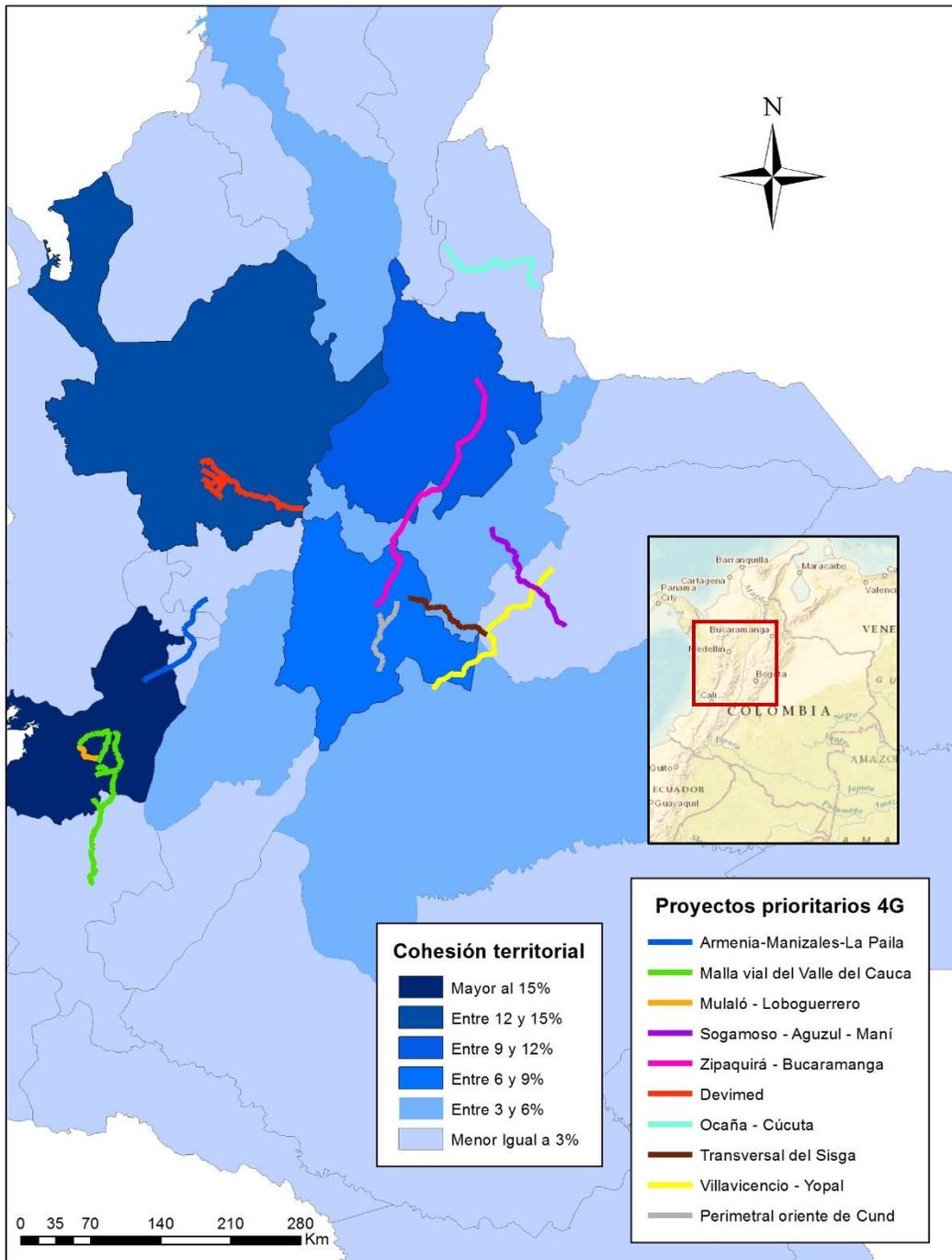
Acorde al análisis de efectos individuales y en conjunto, podemos postular un grupo de proyectos prioritarios evaluados en documentos de proyectos 4G y el PMTI con el fin de comparar el grado de prioridad establecido por el gobierno nacional y entidades técnicas. En ese orden de ideas, importante tener en cuenta que:

- El conjunto de proyectos prioritarios 4G resultado de la investigación, son proyectos de inversión pública de fase 1, 2 y 3. Sin embargo, la mayoría de ellos son de fase 2 y 3. En este caso es importante resaltar que estos últimos fase 2 y 3 deberían hacer parte de la fase 1 para ser ejecutados en un menor plazo y que sus beneficios e impacto se presente en un menor periodo de tiempo.
- Respecto al PMTI, se tiene en cuenta el mejoramiento de corredores de la malla vial del Valle del Cauca y Cauca, y corredores de Antioquia relacionados con Devimed, Armenia y Manizales. Estos proyectos son propuestos como proyectos de tipo prioritario de acuerdo al análisis de variables y citados en la siguiente Tabla 32.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos concluir que existen proyectos 4G tenidos en cuenta en la fase 2 y 3, y que acorde a los resultados deben ser de prioridad alta. Adicionalmente, en el PMTI se encuentra un conjunto de proyectos apropiados y acorde al impacto esperado de acuerdo a características de accesibilidad, costo generalizado de transporte, cohesión territorial y efectos de desbordamiento.

En la siguiente figura, se presenta el conjunto de proyectos de 4G que deben presentar un desarrollo prioritario en categoría de alto y medio impacto. En total, se identifican 11 proyectos de 31 analizados. El hecho que cumplan varios parámetros que

representan un impacto positivo en un contexto regional, da a lugar a considerarlos de interés nacional y su desarrollo mediante inversión pública.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 27** Proyectos prioritarios

**Tabla 32** Proyectos prioritarios 4G

<b>Proyectos de prioridad Alta</b> Con cohesión territorial, cambio de accesibilidad y costos de transporte medio	<b>Fase 4G</b>
Perimetral de oriente de Cundinamarca	1
Villavicencio Yopal	2
Transversal del Sisga	2
Ocaña – Cúcuta	3
Zipaquirá-Bucaramanga Tramo: Zipaquirá – Barbosa	3
Zipaquirá-Bucaramanga Tramo: Barbosa – Bucaramanga	3
Sogamoso – Aguazul – Maní	3

<b>Proyectos de prioridad media</b> Con cohesión territorial alta, cambio de accesibilidad y costos de transporte bajo	<b>Fase 4G</b>
Mulaló – Loboguerrero	1
Malla vial del Valle del Cauca y Cauca	---
Armenia – Manizales – La Paila	---
Devimed	---

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Los tramos Zipaquirá-Barbosa y Barbosa-Bucaramanga, corresponde al proyecto Zipaquirá-Bucaramanga.

Los proyectos: Malla vial del Valle del Cauca y Cauca, Armenia-Manizales-La Paila y Devimed, **no corresponden** a vías 4G. Existe un tramo cercano a Armenia-Manizales-La Paila considerado en la Fase 3 de las vías 4G con el proyecto: Chinchiná-Manizales-Mariquita. Su prioridad media es en este caso función del aporte del Valle del Cauca y Antioquia al PIB nacional y su posible impacto. En este caso, el mejoramiento de estos proyectos se considera de prioridad media para ser tenidos en cuenta en la fase 4 de iniciativa privada o en una próxima generación. Para el caso de la malla vial del Cauca y Cauca, estos corredores se tienen en cuenta en el PMTI en el alcance de mantenimiento de red vial primaria no concesionada para la primera década de ejecución del plan.

## **Líneas de investigación futuras**

Así mismo, identificamos que el proceso de estructuración de una base de datos que permita almacenar información técnica de los principales corredores viales de Colombia se realizó correctamente. Lo anterior, teniendo en cuenta que la confección del sistema SIG de atributos de tipo temporal y espacial presentó un comportamiento esperado para la agrupación de valores, resultados, generación de mapas, y la visualización gráfica de la configuración de la red vial y sus efectos comparativos entre escenarios. Adicionalmente, permitió administrar el conjunto de variables de tipo técnico, base para la generación de resultados y base igualmente para el desarrollo de próximas investigaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos identificar como una futura línea de investigación, la integración a la red vial nacional de la red férrea nacional, la navegabilidad de los principales ríos, la modernización de los puertos y el fortalecimiento de las Instituciones relacionadas con el transporte encargadas de la creación de políticas públicas. De esta manera, se obtendría una estimación de parámetros técnicos y descriptivos que caractericen la situación actual y futura del transporte intermodal en Colombia en el contexto del PMTI, con posibilidad de generar rutas óptimas de transporte de mercancía donde no únicamente sea determinante el tiempo de viaje sino el modo, su capacidad, costos, competitividad, tecnología necesaria y relación costo beneficio, dentro de un amplio abanico de opciones en un marco futuro de una región con la puesta en marcha de un plan maestro de transporte intermodal. Lo anterior, integrado en un sistema GIS que permita realizar análisis espaciales y de redes.

Así, para cumplir con esta nueva meta, es importante tener en cuenta elementos como: modelos de correlación función del PIB donde el trazado de las carreteras responda a necesidades socio-económicas que tenga en cuenta a grupos sociales, centros de producción, centros de consumo, necesidades de conectividad y accesibilidad. Adicionalmente, y como herramienta del proceso investigativo propuesto, cabe resaltar la necesidad de crear un modelo de rutas óptimas entre centros de producción, consumo y futuros focos de desarrollo económico y productivo.

Igualmente, podemos identificar como un aporte significativo a las Instituciones del Estado y de Planeación como La Agencia Nacional de Infraestructura ANI y el Departamento Nacional de Planeación DNP, la formulación de la quinta generación de concesiones viales. Lo anterior, representa una nueva línea de investigación que parte de las enseñanzas del proceso investigativo presentado en este documento.

Finalmente, es importante considerar que para el desarrollo de las diferentes líneas de investigación propuestas en las áreas de cohesión y efectos de desbordamiento debe tenerse en cuenta la aplicación de metodologías matemáticas de estadística descriptiva, cálculo de modelos de regresión para el ajuste de modelos de predicción de variables, cálculo de índices econométricos, y el uso de aplicaciones de análisis de redes en software especializado o en sistemas de información geográfica. Lo anterior, en miras a cuantificar el costo total de transporte como parámetro comparativo entre un escenario base y futuro donde el costo de peajes sea tenido en cuenta en la descripción del impacto de cada uno de los proyectos.

## REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Infraestructura. (2016). *Qué es la ANI*.
- Behar, A., & Venables, A. (2010a). Transport costs and international trade. *A Handbook of Transport Economics*, 97–116. <http://doi.org/10.4337/9780857930873>
- Behar, A., & Venables, A. (2010b). Transport costs and international trade. *Handbook of Transport Economics*, 97–116. <http://doi.org/10.4337/9780857930873>
- Beleño, I. (2010). Vías frenan competitividad en Colombia. *UN Periódico*, 140, 24.
- Benavides, J., & Fainboim, I. (2002). *Private Participation in Infrastructure in Colombia*. (F. Basañes & R. Willig, Eds.). Washington: Inter-American Development Bank.
- Betancor, O., Carmona, M., Macário, R., & Nash, C. (2005). Operating Costs. *Research in Transportation Economics*, 14(5), 85–124. [http://doi.org/10.1016/S0739-8859\(05\)14004-9](http://doi.org/10.1016/S0739-8859(05)14004-9)
- Bocarejo, J., & Oviedo, D. (2012). Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments. *Journal of Transport Geography*, 24, 142–154. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.12.004>
- CAF, & Fedesarrollo. (2015). *Propuestas económicas de los candidatos presidenciales*.
- Combes, P., & Lafourcade, M. (2005). Transport costs: measures, determinants, and regional policy implications for France. *Journal of Economic Geography*, 5(3), 30. <http://doi.org/10.1093/jnlecg/lbh062>
- Condeço-Melhorado, A., Martín, J. C., & Gutiérrez, J. (2011). Regional spillovers of transport infrastructure investment: A territorial cohesion analysis. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 11(4), 389–404.
- Condeço-Melhorado, A., Tillema, T., de Jong, T., & Koopal, R. (2014). Distributive effects of new highway infrastructure in the Netherlands: The role of network effects and spatial spillovers. *Journal of Transport Geography*, 34, 96–105. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.11.006>
- Condeço, A., Maroto, A., Zofio, J., & Gutiérrez, J. (2011). Index number concepts , measures and decomposition of generalized transportation costs : An application to freight road transportation in Spain (1980-2007), 467(November 2010), 35.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2013). *Conpes 3760*.
- Escobar, D., García, F., & Tolosa, R. (2013). *Análisis de accesibilidad territorial a nivel regional* (1st ed.). Manizales: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Fomento, M. de. (2011). Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera, 1–73.
- Fontes, M., Ribeiro, A., & Silva, J. (2014). Accessibility and Local Development: Interaction between Cross-border Accessibility and Local Development in Portugal and Spain. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111, 9. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.127>
- Ford, A. C., Barr, S. L., Dawson, R. J., & James, P. (2015). Transport Accessibility Analysis Using GIS : Assessing Sustainable Transport in London. *Geo-Information International*

*Journal*, (4), 25. <http://doi.org/10.3390/ijgi4010124>

- Gavanas, N., & Pavlidou, N. (2011). The impact of the trans-European road network and the process of enlargement on regional accessibility in South East Europe. In *51st European Regional Science Association Conference* (p. 20). Barcelona, Spain: 51st European Regional Science Association Conference.
- Gonçalves, D., De Morais, C., Faria, T., & Da Silva, M. (2014). Analysis of the difference between the euclidean distance and the actual road distance in Brazil. *Transportation Research Procedia*, 3(July), 876–885. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.066>
- Gutiérrez, J., Condeço-Melhorado, A., & Martín, J. C. (2010). Using accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment. *Journal of Transport Geography*, 18(1), 11. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2008.12.003>
- Gutiérrez, J., & Urbano, P. (1996). Accessibility in the European Union: The impact of the trans-European road network. *Journal of Transport Geography*, 4(1), 15–25. [http://doi.org/10.1016/0966-6923\(95\)00042-9](http://doi.org/10.1016/0966-6923(95)00042-9)
- Hu, A., & Liu, S. (2010). Transportation, economic growth and spillover effects: The conclusion based on the spatial econometric model. *Frontiers of Economics in China*, 5(2), 169–186. <http://doi.org/10.1007/s11459-010-0009-0>
- Karou, S., & Hull, A. (2014). Accessibility modelling: Predicting the impact of planned transport infrastructure on accessibility patterns in Edinburgh, UK. *Journal of Transport Geography*, 35, 11. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.01.002>
- Litman, T. (2015). *Evaluating Accessibility for Transportation Planning Measuring People's Ability To Reach Desired Goods and Activities*.
- López, E. (2008). Measuring Regional Cohesion Effects of large-scale Transport Infrastructure Investments: an accessibility approach. *European Planning Studies*, 16(2), 277–301. <http://doi.org/10.1080/09654310701814629>
- López, E., Monzón, A., Ortega, E., & Mancebo Quintana, S. (2009). Assessment of Cross-Border Spillover Effects of National Transport Infrastructure Plans: An Accessibility Approach. *Transport Reviews*. <http://doi.org/10.1080/01441640802627974>
- López, E., Monzón de Cáceres, A., Ortega Pérez, E., & Mancebo Quintana, S. (2008). Strategic assessment of transport infrastructure Plans on European integration. *Transportation Research Board*, (January), 1–18.
- Martínez, L. M., & Viegas, J. M. (2013). A new approach to modelling distance-decay functions for accessibility assessment in transport studies. *Journal of Transport Geography*, 26, 87–96. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.08.018>
- Miller, J., Robinson, H., & Lahr, M. (1999). Estimating Important Transportation-Related Regional Economic Relationships in Bexar County , Texas. *The Victoria Transport Policy Institute*, 24.
- Morris, J. M., Dumble, P. L., & Wigan, M. R. (1979). Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research Part A: General*, 13(2), 91–109. [http://doi.org/10.1016/0191-2607\(79\)90012-8](http://doi.org/10.1016/0191-2607(79)90012-8)
- Ortega, E., López, E., & Monzón, A. (2014). Territorial cohesion impacts of high-speed rail under different zoning systems. *Journal of Transport Geography*, 34, 8.

<http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.10.018>

- Quinet, E., & Vickerman, R. (2004a). *Principles of Transport Economics*. Massachusetts: Edward Elgar Publishing Inc.
- Quinet, E., & Vickerman, R. (2004b). The Costs of Transport. In *Principles of Transport Economics* (p. 47). [http://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2005.00009\\_3.x](http://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2005.00009_3.x)
- Spiekermann, K., & Wegener, M. (2006). Accessibility and Spatial Development in Europe, 5.
- Taylor, M., Sekhar, S., & D'Este, G. (2006). Application of accessibility based methods for vulnerability analysis of strategic road networks. *Networks and Spatial Economics*, 6(3–4), 267–291. <http://doi.org/10.1007/s11067-006-9284-9>
- Teravaninthorn, S., & Raballand, G. (2009). *Transport prices and costs in Africa: A review of the main international corridors*. <http://doi.org/10.1596/978-0-8213-7650-8>
- Tong, T., Yu, T.-H. E., Cho, S.-H., Jensen, K., & De La Torre Ugarte, D. (2013a). Evaluating the spatial spillover effects of transportation infrastructure on agricultural output across the United States. *Journal of Transport Geography*, 30, 47–55. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.03.001>
- Tong, T., Yu, T. H. E., Cho, S. H., Jensen, K., & De La Torre Ugarte, D. (2013b). Evaluating the spatial spillover effects of transportation infrastructure on agricultural output across the United States. *Journal of Transport Geography*, 30, 47–55. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.03.001>
- Vasallo, J. M., & Izquierdo, R. (2010). *Infraestructura pública y participación privada: conceptos y experiencias en América y España* (Vicepresid). Corporación Andina de Fomento (CAF).
- Vicepresidencia de la República de Colombia. (2015). *PMTI , una política de estado para hacer de Colombia un país más competitivo*.
- Vickerman, R. (1996). Location accessibility and regional development: the appraisal of trans-European networks. *Transport Policy*, 2(4), 225–234. [http://doi.org/10.1016/S0967-070X\(95\)00013-G](http://doi.org/10.1016/S0967-070X(95)00013-G)
- Zegras, C., & Litman, T. (1997). *An Analysis Of The Full Costs And Impacts Of Transportation In Santiago de Chile*. The International Institute for Energy Conservation.
- Zegras, C., & Litman, T. (1997). *An analysis of the full costs and impacts of Transportation in Santiago de Chile*. Washington: International Institute for Energy Conservation (IIEC).