



**PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO**  
**ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONOMICA DEL TREN DE TRANSPORTE DE CARBÓN DEL**  
**CARARE**

**ALEX JAIR SANTOS BARRAGAN**

**MICHAEL INFANTE ABELLA**

**MIGUEL LEONARDO CASTELLANOS RIVERA**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE OBRAS**

**BOGOTÁ D.C NOVIEMBRE DE 2018**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**  
Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	7
1 Generalidades .....	8
1.1 Línea de Investigación .....	8
1.2 Planteamiento del Problema.....	8
1.2.1 Antecedentes del problema.....	9
1.2.2 Pregunta de investigación.....	10
1.2.3 Variables del problema.....	10
1.3 Justificación.....	12
1.4 Objetivos .....	13
1.4.1 Objetivo general .....	13
1.4.2 Objetivos específicos.....	13
2 Marcos de referencia .....	13
2.1 Marco Teórico.....	13
2.2 Marco conceptual .....	17
2.2.1 Caracterización global de la economía de Colombia: .....	17
2.2.2 Plan Maestro de Transporte Intermodal: .....	22
2.2.3 Industria Carbonífera de Colombia: .....	26
2.2.4 Proyección para la industria carbonífera: .....	32
2.2.5 Ingresos a la nación por la industria carbonífera:.....	35

2.3	Marco geográfico .....	35
2.4	Marco demográfico .....	36
2.5	Estado del arte .....	38
3	Metodología.....	44
3.1	Tipo de estudio .....	44
3.2	Fases del trabajo de grado .....	44
3.3	Instrumentos o herramientas utilizadas .....	45
3.4	Alcances y limitaciones.....	45
4	Productos a entregar .....	47
4.1	Trazado preliminar de la vía férrea .....	47
4.2	Determinación de costos del proyecto .....	53
4.3	Análisis Beneficio/Costo.....	57
4.4	Determinación de viabilidad .....	61
5	Entrega de los resultados esperados e Impactos .....	62
5.1	Aporte de los resultados a la Gerencia de Obras.....	62
5.2	¿Cómo se responde la pregunta de investigación con los resultados? .....	63
5.3	Estrategias de comunicación y divulgación .....	63
6	Nuevas áreas de estudio.....	63
7	Conclusiones.....	65
8	Recomendaciones .....	66

Bibliografía .....	67
--------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Producto Interno Bruto colombiano al cuarto trimestre de 2017.</i> .....	17
<i>Figura 2. Variación anual de las exportaciones.</i> .....	18
<i>Figura 3. Crecimiento económico e infraestructura.</i> .....	19
<i>Figura 4. Porcentaje de vías pavimentadas y km de vías por cada mil habitantes.</i> .....	20
<i>Figura 5. Colombia en el Ranking WEF 2016.</i> .....	20
<i>Figura 6. Plan de expansión de infraestructura.</i> .....	21
<i>Figura 7. Distribución transporte de carga en Colombia.</i> .....	21
<i>Figura 8. Plan maestro ferroviario.</i> .....	23
<i>Figura 9. Inversión estimada para el PMTI.</i> .....	24
<i>Figura 10. Participación en exportaciones.</i> .....	24
<i>Figura 11. Costos de transportar mercancía en contenedores en US\$.</i> .....	25
<i>Figura 12. Proyectos propuestos en el PMTI a dos décadas de inversión.</i> .....	26
<i>Figura 13. Ubicación de principales yacimientos de carbón.</i> .....	27
<i>Figura 14. Proyección por escenarios del ingreso al productor de carbón colombiano.</i> .....	33
<i>Figura 15. Histórico y proyección de la oferta mundial de carbón en millones de toneladas.</i> .....	34
<i>Figura 16. Producción proyectada de carbón en Colombia.</i> .....	34
<i>Figura 17. Histórico y proyección de la demanda mundial de carbón en millones de toneladas.</i> .....	35
<i>Figura 18. Estampilla del ferrocarril de 1830 de Manchester y Liverpool [29].</i> .....	39
<i>Figura 19. Primer ferrocarril de América del Sur, Lima - El Callao [30].</i> .....	40
<i>Figura 20. Operadores ferroviarios de Latinoamérica [3, p. 47].</i> .....	40
<i>Figura 21. Participación ferrocarril-camión en Latinoamérica [3].</i> .....	41
<i>Figura 22. Tonelaje transportado en 2013 por países de Latinoamérica.</i> .....	42
<i>Figura 23. Carga mayormente transportada en Latinoamérica.</i> .....	42
<i>Figura 24. Coordenadas de los extremos del trazado.</i> .....	48
<i>Figura 25. Primera aproximación al trazado preliminar del ferrocarril del Carare.</i> .....	49

<i>Figura 26. Segunda aproximación al trazado preliminar del ferrocarril del Carare.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 27. Tercera aproximación al trazado preliminar del ferrocarril del Carare.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 28. Trazado preliminar del ferrocarril del Carare obtenido con Google Earth Pro.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 29. Trazado preliminar del ferrocarril obtenido por Global Mapper 20.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 30. Perfil aproximado del trazado preliminar obtenido con Global Mapper 20. ....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 31. Porcentaje del costo por rubros para la construcción del tren del Carare. ....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 32. Flujo de inversión aproximado del proyecto.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 33. Contexto de iniciación del proyecto [36].....</i>	<i>62</i>

## **LISTA DE TABLAS**

<i>Tabla 1. Tipos de trocha utilizada en las vías férreas colombianas. ....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2. Horas perdidas por descarrilamiento, años 1965-1972. ....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3. Estado de las pérdidas y ganancias del transporte férreo a 1987. ....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4. Proyectos para APP de iniciativa privada en el sector.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 5. Principales proyectos de extracción de carbón en Colombia. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 6. Clasificación de los tipos de carbón presentes en la zona de influencia del proyecto. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 7. Reservas de carbón de la zona de influencia del proyecto.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 8. Costos del transporte de carbón por tramo. ....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 11. Estimaciones de longitud final del Ferrocarril del Carare.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10. Cálculo del costo del proyecto en el año 2018.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 11. Resumen del costo de los hitos del proyecto .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 12. Resumen de flujo de costos por porcentaje. ....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 13. Costos por años y por hitos del proyecto (valores en millones de dólares). ....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 14. Cálculo de la producción según tipo de carbón para el área de influencia en horizonte sin proyecto. ....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 15. Estimación de ganancias en horizonte planteado a causa del proyecto, alternativa 1.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 16. Cálculo de la producción según tipo de carbón para el área de influencia en horizonte con proyecto. ....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 17. Estimación de ganancias en horizonte planteado a causa del proyecto, alternativa 2.....</i>	<i>61</i>

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país se ve afectado por una serie de factores económicos, demográficos, ambientales, culturales, políticos y sociales que influyen directamente en la calidad de vida de las comunidades que viven en él, dentro de estos factores se encuentra el adecuado transporte de personas, materiales, insumos, materias primas, alimentos, minerales, agua y demás elementos necesarios para la productividad de las regiones.

Colombia es un país particularmente rico en recursos naturales, entre ellos recursos minero energéticos como el carbón, producto de la ubicación privilegiada que posee respecto a los demás países de la región.

El país se enfrenta a grandes desafíos para lograr transportar la carga desde y hacia los principales centros productivos y puertos del país; tarea que por décadas se ha realizado mediante tracto camiones, lo que ha creado una excesiva concentración del transporte de carga en el modo vial [1, p. 13]. Sin embargo, la eficacia de este modo se ha visto afectada por el rezago del país en temas de infraestructura vial, ocasionado en gran parte por sus condiciones geográficas y por factores adicionales como el precio elevado de combustibles y la dificultad en el acceso a ciertas regiones víctimas de los conflictos bélicos a los que ha sido sometido el territorio.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente documento se estudiará la viabilidad de la implementación de un sistema férreo en el tramo que une los municipios de Belencito, en el departamento de Boyacá, y el sector de Vizcaína en el departamento de Santander, que permita agilizar el transporte de carga y potenciar la explotación de los recursos carboníferos de las cuencas de Cundinamarca, Boyacá y Santander.

## **1 GENERALIDADES**

### **1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Durante la segunda mitad del siglo XX el transporte de carga en Colombia se fue tornando hacia la implementación del sistema carretero de vehículos impulsados por ACPM, dejando de lado el desarrollo de los sistemas ferroviarios que hasta el momento venía en crecimiento. Esto creó un rezago en materia de infraestructura de transporte [2, pp. 36 - 37], con respecto a los países de la región y alrededor del mundo, sobre todo en naciones pioneras en el desarrollo ferroviario como Alemania, Francia, Estados Unidos y Japón.

Aunque en la actualidad el país cuenta con algunos trazados, se debe tener en cuenta que estos fueron diseñados y realizados hace más de medio siglo, y que están caracterizados por fuertes gradientes y curvas de pequeño radio, debido a que la trocha o ancho de vía utilizada en estos trazados es la conocida como trocha angosta de ancho 914 mm; esto en contraposición al ancho utilizado en la gran mayoría de trazados de todo el mundo los cuales aplican la trocha estándar de ancho 1435 mm [3, p. 34].

Por otro lado, Colombia tiene un sistema montañoso conformado por 3 cordilleras y numerosos ríos, que han dificultado la construcción de carreteras adecuadas para el transporte de carga, cuyo principal parque automotor se compone de tracto camiones impulsados con combustibles fósiles y camiones de menos envergadura (para el caso de las vías que se encuentran en peor estado), esto a su vez ocasiona que el transporte de carga en el país tenga grandes costos en cuanto a tiempo y dinero, lo que le resta competitividad a la nación en la región [1, p. 7].



Por lo señalado anteriormente, el principal desafío del país es lograr adoptar un sistema de transporte de carga que logre optimizar e integrar los factores económicos, sociales y geográficos, para lograr tener la competitividad necesaria tanto dentro como fuera del país, potenciando las formas de aprovechamiento de sus principales riquezas

Es por esto que en el presente documento se plantea un estudio de viabilidad para la implementación del Tren del Carare, el cual se encuentra en etapa de estudios dentro del Plan Maestro de Transporte Intermodal propuesto por el gobierno en el año 2010 y que tiene como objetivo potenciar y optimizar el transporte de carga de recursos carboníferos desde el centro hacia el norte del país, integrando el tramo Bogotá – Belencito con el tramo La Dorada – Chiriguana.

### **1.2.1 Antecedentes del problema**

Colombia es un país con 49,8 millones de habitantes [4], atravesado por una gran cadena montañosa, innumerables valles, ríos y ecosistemas, y con la gran ventaja de limitar con dos océanos, lo que hace que el país logre tener una ventaja sobre los demás países de la región. Sin embargo, estas condiciones han afectado de manera negativa la conectividad de las regiones debido a presentar barreras naturales, restando con ello la competitividad en la región.

En cuanto al sistema de transporte, Colombia lleva más de medio siglo apostándole al transporte por carretera. El país tiene una red de carreteras de aproximadamente 206.500 km y en total el transporte por carretera moviliza anualmente aproximadamente 220.3 millones de toneladas, siendo esta cifra el 73% del total de la carga transportada. Diferentes autores concuerdan en que hay un exceso de concentración del transporte de carga y pasajeros en el modo vial y una falta de articulación de este con los sistemas existentes [1]. En contraparte, para el año 2013 la red ferroviaria colombiana se componía de 1645 km de líneas activas y 1.884 km

de líneas inactivas; el ferrocarril logró transportar alrededor de 76.8 millones de toneladas, es decir el 25% [5].

Según el Banco Interamericano de Desarrollo, en su documento “Desafíos del Transporte Ferroviario de Carga en Colombia”, los principales corredores férreos existentes son los siguientes:

- a) Corredor del Cauca: comprendido entre Popayán – Cali - Cartago y la conexión a Medellín, con 600 km. En la actualidad solo se encuentra en operación el tramo entre Cali y Cartago (de aproximadamente 170 km) de la actual concesión del Pacífico, que llega hasta La Felisa.
- b) Corredor del Magdalena: Actualmente el tramo Neiva–La Dorada (387,5 km) está abandonado.
- c) Corredor de la Sierra: Se construyeron dos de sus tramos desde Cúcuta al norte (1878–1888) y al sur (1893–1929), hoy abandonados, y un tramo entre Bogotá y Barbosa (1896–1935), del que sólo queda en servicio el tramo de Bogotá a Zipaquirá. Una variante de este corredor es el tramo entre La Caro y Paz de Río (1921–1952), que subsiste hasta hoy.

### **1.2.2 Pregunta de investigación**

¿Es económicamente viable la implementación del sistema férreo en el tramo Belencito – Vizcaína para el transporte de carbón de la región?

### **1.2.3 Variables del problema**

**Costos del transporte y estado de las vías:** En la actualidad, para los productores de carbón de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander es muy costoso sacar su

producto hacia las zonas de comercialización debido al pésimo estado de las vías, lo cual le resta competitividad a las pequeñas y medianas empresas del sector, siendo muchas de ellas empresas colombianas.

**Tiempos:** como resultado del mal estado de las vías y de la ubicación remota de las minas de carbón, en especial en municipios boyacenses, el mineral producido se demora mucho tiempo en alcanzar su destino final, lo que a su vez aumenta los costos asociados.

**Gestión:** La industria carbonífera del centro del país, en gran parte no cuenta con planes de gestión y de calidad apropiados, ya que muchas de estas empresas emplean métodos de carácter artesanal.

**Variables técnicas:** Los diseños con los que se han construido la mayoría de las líneas férreas existentes fueron realizados hace más de 100 años, y poseen fuertes gradientes y curvas de pequeño radio, adicionalmente el ancho utilizado es el conocido como trocha angosta (914mm), frente al ancho o trocha estándar de (1435 mm). Se deberá establecer si la trocha angosta vigente en la actualidad es adecuada para la implementación del sistema férreo conocido como el Tren del Carare, o si por el contrario esto acarrea un problema técnico a tener en cuenta [3].

**Variables políticas:** Las políticas deben establecer un modelo de gestión para evitar que una única empresa ferroviaria tome el monopolio, para evitar volver a cometer los errores del pasado. Por otro lado se debe fijar un cupo de capacidad disponible, mediante asociaciones públicas privadas (APP) y la institucionalidad para el sector férreo.

**Reservas de carbón:** El potencial del país en la explotación de carbón es el más alto de la región, pero en su mayoría esta industria es manejada por empresas multinacionales, en las zonas de influencia del proyecto del tren del Carare se encuentran grandes depósitos de mineral

de características especiales para la industria metalúrgica, los cuales son extraídos por empresas nacionales, pero sus limitaciones en cuanto al transporte hacia los puertos más importantes del país es un obstáculo para su crecimiento.

**Proyección precios del mineral:** La eventual construcción del Ferrocarril del Carare es, sin duda, fuertemente dependiente de la evolución de los precios internacionales de largo plazo del carbón metalúrgico y del desarrollo de la minería en esta zona [3].

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Colombia es un país poseedor de vastos recursos naturales y con una potencialidad enorme para la industria y el desarrollo minero-energético, por esta razón debe contar con un sistema de transporte acorde con estos factores, que logre aprovechar adecuadamente los recursos del país y optimizar al máximo el modo en el que se realiza el transporte de carga.

Su factibilidad está basada en el transporte de importantes volúmenes de carbón metalúrgico desde diversos yacimientos en Cundinamarca, Boyacá y Santander [3].

La rehabilitación, mantenimiento y construcción de los diferentes corredores férreos que posee el país y de aquellos que se planean dentro de los diferentes planes de desarrollo, presentan una gran oportunidad para todo el sector de la ingeniería, en especial para la ingeniería civil y para la gerencia y gestión de obras y de nuevos proyectos de infraestructura.

Desde el punto de vista de la gerencia, el proyecto se justifica en la reducción de los costos asociados al transporte de productos carboníferos y de carga en general, así como los volúmenes de transporte, factores que influyen directamente en la competitividad de los productores de la región, para lo cual se demostrará la viabilidad económica del proyecto y sus beneficios, no solo para el sector productor del carbón, sino para conectividad de la infraestructura férrea del país.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Determinar la viabilidad económica de la construcción de una línea férrea que comunique los municipios de Belencito en el departamento de Boyacá y la vereda Vizcaína, cerca al municipio de Barrancabermeja en el departamento de Santander.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Describir los beneficios y ventajas económicas para el transporte de carga, derivados de la construcción de esta línea férrea.
- Realizar un trazado estimativo para el diseño y construcción de esta línea férrea.
- Determinar los costos asociados a la construcción del proyecto.
- Establecer los principales factores que influyen para la construcción del proyecto.

## **2 MARCOS DE REFERENCIA**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

En la actualidad el desarrollo del transporte en el país está basado en el sistema de carreteras, cuya infraestructura es financiada en gran parte con el impuesto a los combustibles y los peajes [6].

El sistema carretero se caracteriza por la implementación de concesiones, las cuales se originan en 1997 como respuesta a la carencia de recursos estatales, con el fin de inyectar recursos del sector privado para realizar obras prioritarias destinadas a la Red Vial Nacional [7].

En el caso de las vías férreas, las cosas no se alejan mucho de este escenario, sin embargo la inyección de recursos vino de parte de capitales extranjeros a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX [8]. En cuanto a los métodos constructivos, se adoptaron técnicas

provenientes de los países contratados para los estudios y asesorías en la construcción de los tramos, siendo empresas inglesas las principalmente consultadas para tal tarea.

El ancho de la trocha varió dependiendo de la empresa designada para su estudio y/o construcción, lo que hizo que dentro del territorio nacional se presentara más de un ancho para cada tramo construido como se muestra en la tabla 1, siendo la trocha angosta de 0.914 mm la más utilizada.

*Tabla 1.* Tipos de trocha utilizada en las vías férreas colombianas.

<b>FERROCARRIL</b>	<b>ANCHO DE VÍA</b>
Barranquilla - Sabanilla	1.07 m
Cúcuta – Río Zulia	1.00 m
Del Norte	1.00 m
Del Sur	1.00 m
Puerto Wilches	1.00 m
De Antioquia	0.914 m
De Cundinamarca	0.914 m
De Girardot	0.914 m
De La Dorada	0.914 m
De Santa Marta	0.914 m
Del Pacífico	0.914 m
De Cartagena	0.914 m
Huila - Caquetá	0.914 m

*Nota:* Datos correspondientes a las líneas férreas construidas en operación y abandonadas, tomado de [6].

El uso de este tipo de trocha acarrió una serie de inconvenientes para el buen funcionamiento de los ferrocarriles, para el año 1972 por ejemplo, se perdieron 14372 horas de viaje debido al descarrilamiento de los trenes, un valor demasiado grande aún para la época [6], tal como se observa en la tabla 2.

*Tabla 2.* Horas perdidas por descarrilamiento, años 1965-1972.

<b>AÑO</b>	<b>DESCARRILAMIENTOS</b>	<b>HORAS PERDIDAS POR DESCARRILAMIENTOS</b>
1965	1855	9092
1967	2555	9829
1970	7116	25759
1972	4638	17372

El problema causado por los descarrilamientos, además de significar retrasos considerables en los tiempos de viaje, también repercutió en el número de locomotoras en aceptable estado y en las ganancias obtenidas del transporte de carga y pasajeros, tal y como se muestra en la tabla 3, según Alvear [6] las pérdidas fueron en aumento con el pasar de los años, lo cual hizo que hacia la segunda mitad del siglo XX, el sistema férreo se hiciera insostenible.

*Tabla 3.* Estado de las pérdidas y ganancias del transporte férreo a 1987.

AÑO	CARGA (TON)	PASAJEROS	LOCOMOTORAS	P Y G (MILLONES DE PESOS)
1960	5'441.000	9'809.000	308	-13
1965	6'475.000	6'475.000	235	ND
1970	2'954.000	2'954.000	292	-43
1975	2'923.000	2'184.000	189	-699
1980	1'934.000	2'215.000	175	-3.191
1985	1'278.000	2'369.000	191	-6.767
1987	1'429.000	1'055.000	177	-9.893

Como se mencionó previamente, el desarrollo ferroviario alcanzó su máxima expresión a mediados del siglo XX; fue en este periodo en donde el gobierno nacional realizó el desembolso de recursos significativos para ampliar y mejorar el sistema, tal y como lo indicó en su momento el doctor Argelino Durán Quintero, los recursos aportados alcanzaron los 1.119 millones de pesos, de los cuales el Gobierno Nacional aportó 686 millones.

A pesar de los esfuerzos del gobierno, dentro de los que se destacaron la compra del Ferrocarril de Antioquia (por una millonaria suma), no se logró sacar al sistema férreo de la crisis sino que al contrario, era cada vez mayor el déficit financiero que tenía que cubrir el Gobierno Nacional.

El principal error del Gobierno Nacional fue que durante más de 60 años no se renovaron las tecnologías implicadas en el funcionamiento de los Ferrocarriles Nacionales, las locomotoras a vapor utilizadas durante décadas no superaban los 20 km/h, lo cual las hizo obsoletas en medio

del apogeo de las carreteras y el transporte por camión, y a su vez no se realizaron los adecuados mantenimientos a la red. Greiff (2006) afirma:

*También se tomaron otras decisiones equivocadas, como el retiro prematuro de las locomotoras a vapor, ordenado por la misión del Banco Mundial hacia 1967, antes que las más recientes terminaran siquiera su primer ciclo de vida útil; como la compra, en 1969 y 1973, de 88 locomotoras Babcock & Wilcox (General Electric española), que no podían trabajar al régimen nominal de 1.050 caballos de potencia ofrecida a los FF. NN (...) Eran muy pesadas, rígidas y largas para una superestructura de vías con traviesas de mala calidad, con rieles livianos y con curvas absurdamente cerradas.*

Lo anterior sumado a que, como se mencionó previamente, la trocha angosta fue un limitante que restringió a unas pocas las locomotoras que podían funcionar en el trazado y con ello, la velocidad de desplazamiento no era la más óptima.

Todo lo descrito previamente influyo de manera directa en el decaimiento del sistema ferroviario hasta el estado actual, en el que son pocos los tramos en buen estado y funcionamiento, y la mayoría de esos tramos están bajo esquemas privados.

El inventario actual de las vías férreas en el país está caracterizado por tramos en operación que comparten su manejo por organizaciones privadas y el estado mediante concesiones a cargo de la ANI y suman 743 km, por tramos inactivos que suman 1689 km a cargo del INVIAS y por alrededor de 189 km de vías totalmente privadas.

Para el año 2015, según Kohon *et al* [3] mediante iniciativa del sector privado se presentaron un total de 20 proyectos con el fin de establecer Alianzas Publico Privadas, lo que demuestra el interés por el resurgimiento del sistema, ver tabla 4.



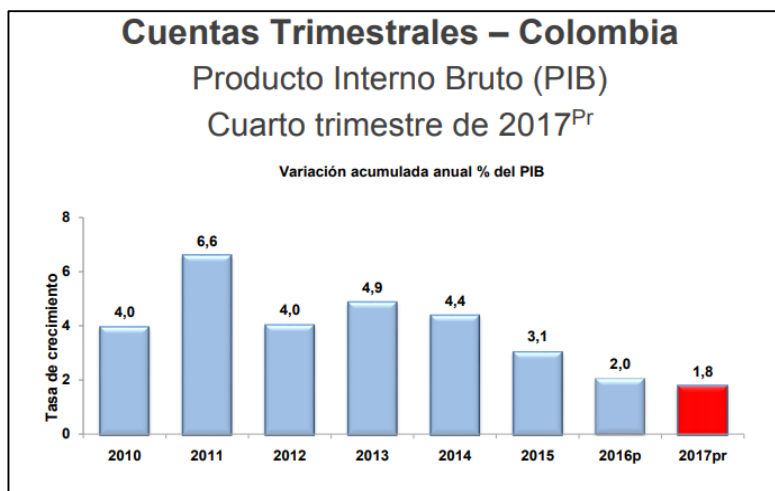
**Tabla 4.** Proyectos para APP de iniciativa privada en el sector

Proyectos de APP de Iniciativa Privada Octubre 2015	Proyectos
Factibilidad en Estudio	5
Pre-Factibilidad en Estudio	7
Rechazados	8
<b>Total</b>	<b>20</b>

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1 Caracterización global de la economía de Colombia:

Colombia por sus dimensiones y población el cuarto país de América Latina, por detrás de Brasil, Argentina, México, y el único con 2 océanos. La tasa de desempleo se ubicó en el 9.4%, siguiendo con la tendencia a la baja de comienzos del siglo XXI, y la tasa de ocupación se mantuvo alrededor del 57% con respecto al año anterior.

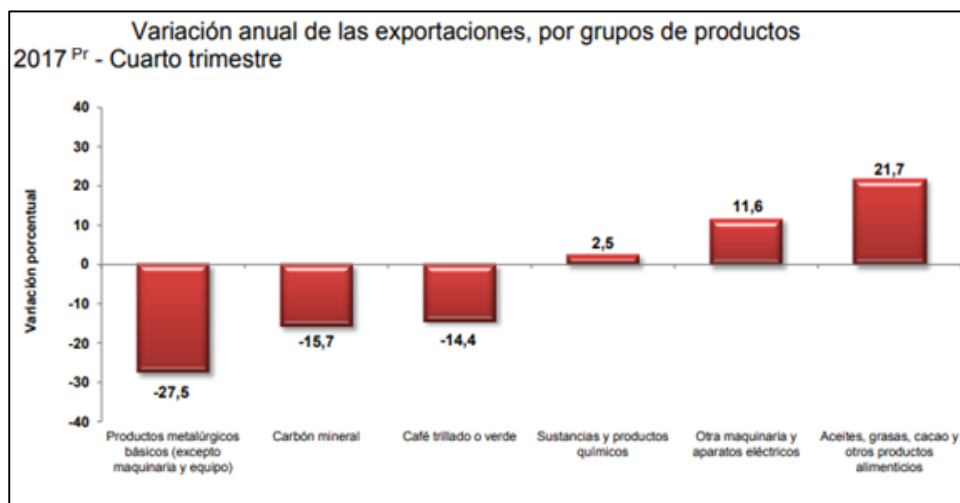


**Figura 1.** Producto Interno Bruto colombiano al cuarto trimestre de 2017.

Según reportes del DANE [9], tal y como se muestra en la figura 1, la tasa de crecimiento del PIB de Colombia en el cuarto trimestre de 2017 fue de 1,8 mostrando una tendencia a la baja desde 2013.

En la figura 2, con datos tomados del DANE [9], se muestra cómo en 2017 las exportaciones de carbón disminuyeron en un 15.7%, la cual es una cifra significativa, teniendo

en cuenta el gran potencial que tiene el país en la explotación de este mineral. Adicionalmente, se debe tener en cuenta el compromiso pactado por numerosas naciones de disminuir las emisiones de agentes contaminantes, por lo cual el tema ambiental es crucial para explicar esta disminución.



*Figura 2.* Variación anual de las exportaciones.

En gran medida el desempeño económico se basó en el comportamiento del sector minero–energético que ha concentrado, en los últimos años, alrededor del 50% de la Inversión Extranjera Directa (IED). El nivel de inversiones en ese sector hizo que llegara a generar el 70% del valor de las exportaciones del país, convirtiéndose así en la principal fuente de divisas, aun cuando sólo representa el 8% del PIB [10]. Ese desempeño se ha visto facilitado por el elevado nivel de precios de las exportaciones colombianas, reflejado en la mejora que ha tenido el Índice de Términos de Intercambio (ITI), que prácticamente se ha duplicado entre agosto de 1995 y agosto de 2014.

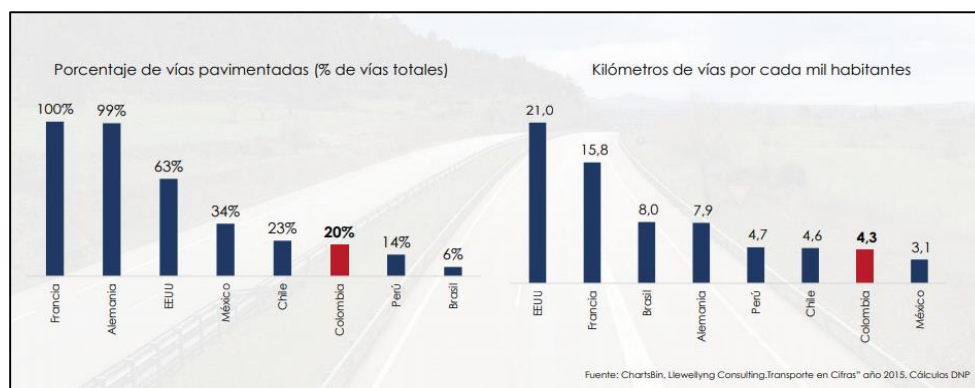
La infraestructura vial en un país tiene una relación de directa proporcionalidad con respecto al crecimiento económico, según el Departamento Nacional de Planeación [11], en la

figura 3 se puede observar como el PIB del país presento un comportamiento similar a la variación porcentual del crecimiento en infraestructura durante los últimos 15 años. Es importante señalar que aunque en los últimos años han incrementado los esfuerzos para aumentar y mejorar la infraestructura para el transporte en Colombia, aún se presenta un rezago significativo ante algunos de los países de la región y del mundo.



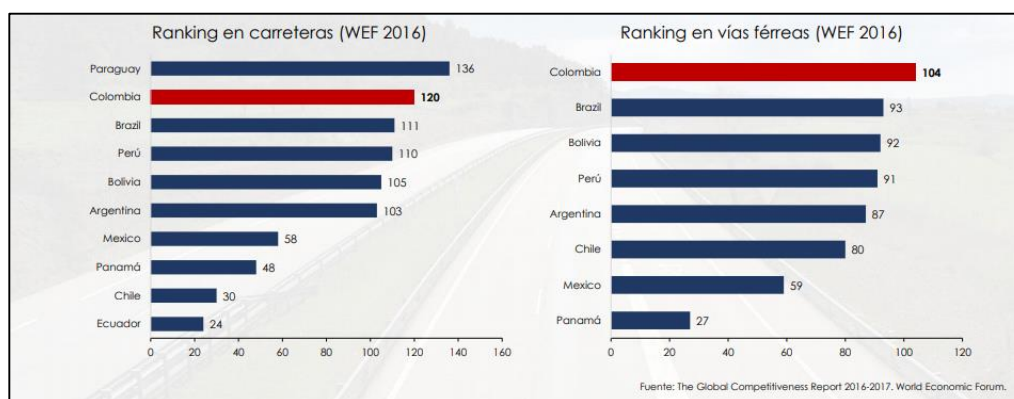
**Figura 3.** Crecimiento económico e infraestructura.

Según el DNP, Colombia cuenta con un bajo Indicador de calidad de la infraestructura (WEF) que se encuentra apenas en el percentil 41, comparado con países como Singapur (99), Alemania (96), Estados Unidos (92), Canadá (91), y países de la región como Chile (69), México (59) y Ecuador (53). En un país es indispensable tener vías que garanticen la conectividad de las regiones. Esto garantiza que la productividad de la nación se incremente debido al permanente tráfico de productos. Colombia lleva décadas con dificultades en alcanzar sus objetivos en cuanto a infraestructura vial, lo que causa que todo el potencial económico e industrial del país no sea aprovechado. En la actualidad el país no se encuentra bien posicionado frente a este tema, tal como lo muestra el DNP [11], llegando a estar por detrás de países como la India (figura 4).



**Figura 4.** Porcentaje de vías pavimentadas y km de vías por cada mil habitantes.

En el ranking en carreteras WEF 2016 Colombia ocupa el puesto 120 frente a Ecuador, el cual ocupa el puesto 24 muy por encima, y en cuanto al Ranking en vías férreas WEF 2016 el país está en el puesto 104 muy por debajo de Panamá o México, como se muestra en la figura 5.



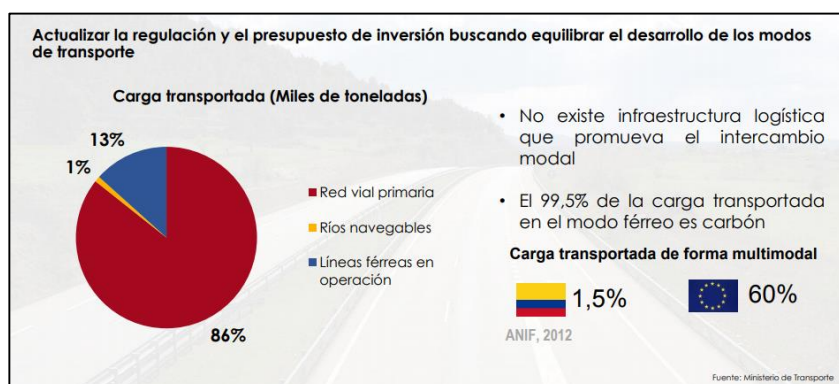
**Figura 5.** Colombia en el Ranking WEF 2016.

Actualmente se planea realizar una gran inversión en las llamadas Vías 4G; se observa que la prioridad sigue siendo el sistema carretero, sin embargo en el actual gobierno se estableció el plan para reforzar la infraestructura ferroviaria, con la destinación de \$ 0.9 billones de pesos para tal fin y cuya prioridad es la construcción del metro de Bogotá y la ampliación y reforzamiento de los corredores central y Bogotá – Belencito, como se muestra en la figura 6 con datos del DNP [11].



**Figura 6.** Plan de expansión de infraestructura.

Es importante señalar que en el futuro cercano no se vislumbra un cambio de paradigma frente al modo de transportar la carga en Colombia. Según el DNP [11], para el año 2010, el Plan de Desarrollo del país indicaba concentrar el transporte en el modo carretero, sin embargo, el gobierno nacional es consciente de la importancia de la integración modal, la cual es el eje fundamental del transporte de carga en los países de la Unión Europea y en Estados Unidos. Para el año 2017 se ve como el 86% de la carga pertenece a la Red vial Primaria, el 1% Ríos navegables, y el 13% líneas férreas en operación (figura 7).



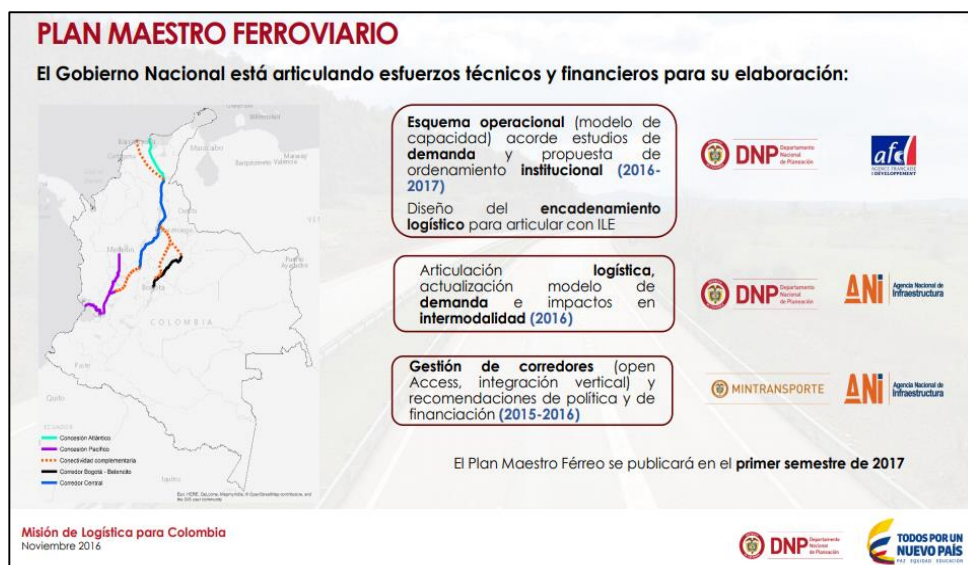
**Figura 7.** Distribución transporte de carga en Colombia.

### **2.2.2 Plan Maestro de Transporte Intermodal:**

Según Saúl Pineda Hoyos director del Centro de Pensamiento en Estrategias Competitivas de la Universidad del Rosario [12]: “Mientras transportar una tonelada en un trayecto largo en camión cuesta en promedio 0,91 dólares por kilómetro, por ferrocarril cuesta tan solo 0,055 dólares por kilómetro. Esto es, 16 veces menos”.

Hacia comienzos del siglo XX, la red ferroviaria colombiana abarcaba buena parte de las zonas de mayor población del país. Llegó a alcanzar una extensión superior a los 3.300 kilómetros. Con el desarrollo de las carreteras, los trazados ferroviarios fueron abandonados en forma progresiva, manteniéndose en servicio actualmente sólo una parte minoritaria de la red original. Si bien aproximadamente alrededor de 1.750 kilómetros de la red se encuentran potencialmente activos, sólo 777 kilómetros presentan operaciones [3, p. 35].

Por lo anterior, de acuerdo al Departamento Nacional de Planeación [13] el gobierno planea la publicación del Plan Maestro Férreo (figura 8), como parte integral del Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI), propuesto en el 2010 por el gobierno del Presidente Juan Manuel Santos y el cual es una apuesta del Estado colombiano para organizar en forma eficiente y estratégica el crecimiento del país, a través de una red de infraestructura que logre conectar a las ciudades, las regiones, las fronteras y los puertos, priorizando los proyectos que mayor impacto tendrán para la economía nacional [14].



*Figura 8.* Plan maestro ferroviario.

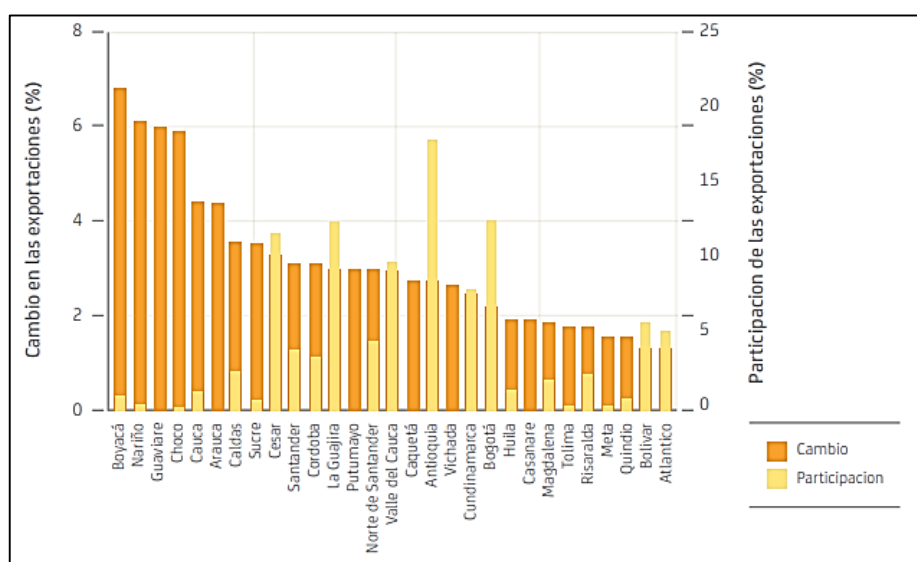
Es en el PMTI en donde se planea la ejecución del tren del Carare, una línea férrea que comenzará en el municipio de Belencito en el departamento de Boyacá y que irá hasta el sur de Barrancabermeja en Santander, en una zona conocida como Vizcaína, conectando dos importantes líneas férreas, el Tramo Bogotá – Belencito y el Tramo La Dorada – Chiriguana, las cuales en la actualidad componen un eje fundamental del transporte férreo en el centro del país.

La inversión total estimada para el desarrollo de la red férrea en el PMTI sería de aproximadamente 4.10 billones de pesos para la primera década y de 6 billones de pesos para la segunda década, según datos del año 2012; de los cuales aproximadamente 5 billones serían destinados para la construcción de 420 km de vía férrea para el Tren del Carare, tal como lo menciona el Ministerio de Transporte [14], ver figura 9.

		Primera década	Segunda década	Total por componente
Red Básica	<b>Componente</b>	(Bill COP 2015)		
	Fluvial	3,58	1,22	4,80
	Férrea	4,10	6,00	10,10
	Puertos (canales)	0,64	0,64	1,28
	Aeropuertos	15,73	1,13	16,86
	Vial			
	<i>Mantenimiento</i>	21,13	39,37	60,50
	<i>Reducción saturación</i>	29,27	14,45	43,72
	<i>Mejora especificaciones</i>	13,03	4,94	17,97
	<b>Total Red Básica</b>	<b>87,48</b>	<b>67,75</b>	<b>155,23</b>
Redes de Integración	Fluvial	-	2,16	2,16
	Vial			
	<i>Mantenimiento</i>	-	6,99	6,99
	<i>Proyectos</i>	17,19	26,89	44,08
	<b>Total Red Integración</b>	<b>17,19</b>	<b>36,04</b>	<b>53,23</b>
	<b>Inversión anual</b>	<b>10,47</b>	<b>10,38</b>	
	<b>Inversión anual como porcentaje del PIB 2015</b>	<b>1,31%</b>	<b>1,30%</b>	

**Figura 9.** Inversión estimada para el PMTI.

Para el Ministerio de Transporte [15], la construcción del tren del Carare se sustenta en la potenciación del transporte de carga y la explotación de los grandes recursos carboníferos que se encuentran en las cuencas de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander, y las cuales representan grandes oportunidades económicas para el país, del orden del 25% de las exportaciones del país (Figura 10).

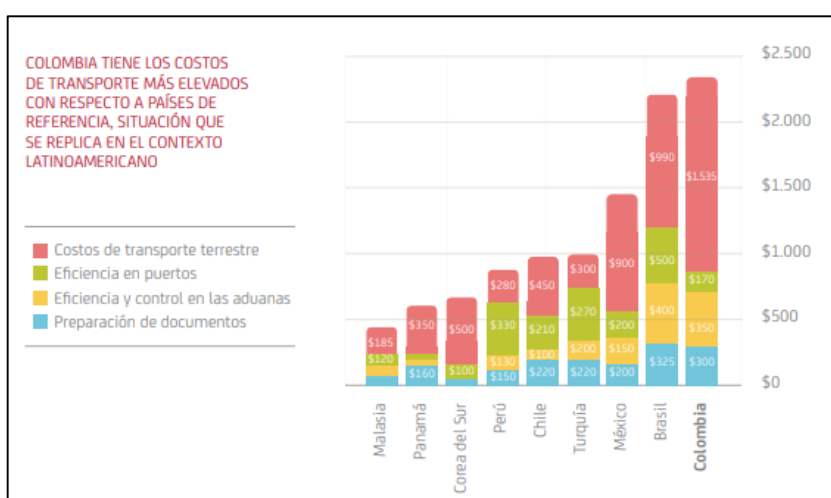


**Figura 10.** Participación en exportaciones.



De acuerdo al Ministerio de Transporte [14], los costos asociados al transporte de carga en el país son los más altos de la región (figura 11), lo cual es ocasionado por los diversos factores geográficos y logísticos previamente mencionados.

Estos costos representan grandes dificultades para sectores como el de la industria carbonífera del centro del país, ya que debido a la infraestructura actual, se debe limitar el transporte de los productos extraídos hacia las zonas de exportación en los puertos, principalmente de la costa Atlántica, según lo permitan las condiciones de las carreteras.



*Figura 11.* Costos de transportar mercancía en contenedores en US\$.

Es importante señalar que para el año 2013 el 99,9% de la carga transportada por tren fue carbón y se divide especialmente en 2 zonas, el norte del país y el centro del país. En la primera el transporte relativamente sencillo debido a la cercanía a los puertos de embarque, sin embargo al interior del país sucede lo contrario, debido a que el transporte del mineral es mucho más complicado dada la posición geográfica de la región. A esto se le suma un tipo de minería poco tecnificada o de subsistencia, es decir, a pequeña escala. Por lo general, este tipo de minería está asociada con contaminación, deterioro, erosión y desestabilización del terreno debido a la ausencia de diseños de explotación minera [1]. A lo anterior se suma a la falta de interconexiones

en la infraestructura existente, por ejemplo, en las conexiones entre el sistema carretero y el sistema ferroviario que se encuentra en operación. En la figura 12 se muestra el esquema general de los trazados de líneas férreas del país incluyendo los trazados propuestos en el PMTI [14].

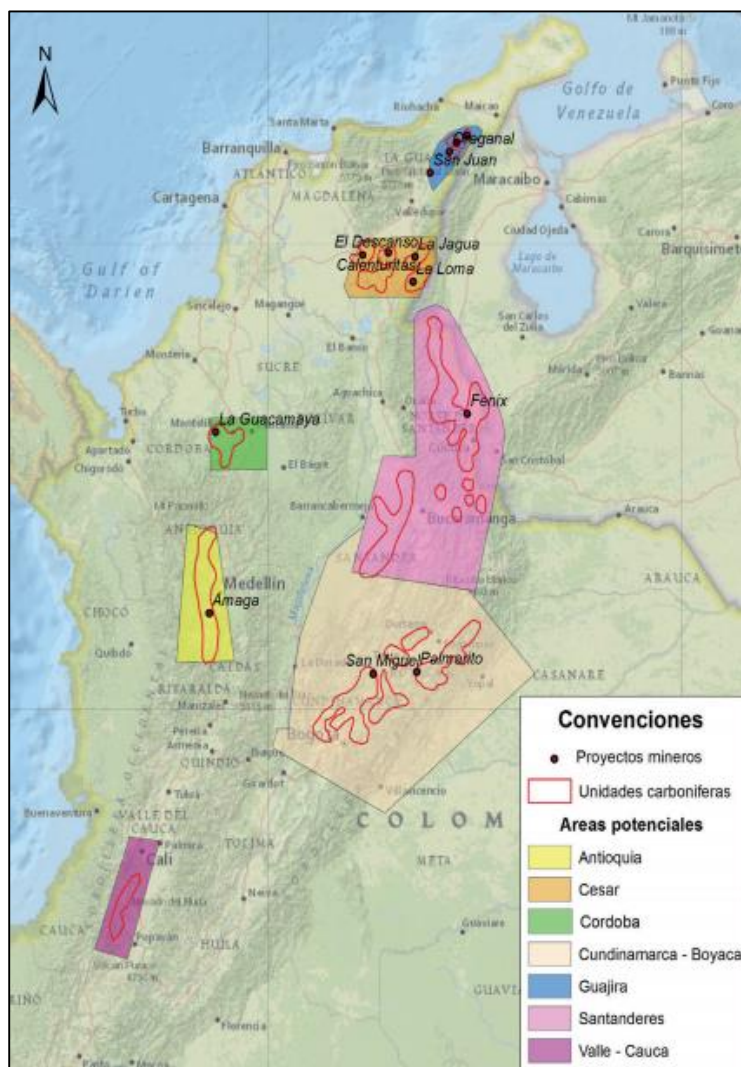


*Figura 12.* Proyectos propuestos en el PMTI a dos décadas de inversión.

### 2.2.3 Industria Carbonífera de Colombia:

Colombia es el principal productor y exportador de carbón de Latinoamérica, llegando a producir aproximadamente 85 millones de toneladas anuales, lo cual representa alrededor del 2%

del PIB del país, siendo el producto minero que tiene el mayor peso dentro del PIB nacional. En la actualidad Colombia cuenta con recursos carboníferos potenciales del orden de los 15.000 millones de toneladas que representan el 90% del carbón metalúrgico y el 47% del carbón térmico de la región, tal como lo describe la Agencia Nacional de Minería en la figura 13 [16].



*Figura 13.* Ubicación de principales yacimientos de carbón.

El PIB del carbón para el tercer trimestre de 2017, tuvo un valor de 1,73 billones de pesos, con un incremento de 1,94% en comparación con el segundo trimestre de 2017, pero disminuyendo 10,58% en comparación con el tercer trimestre de 2016, a pesar de esto el carbón

se mantiene como el mineral de mayor participación porcentual en el PIB minero total, ascendiendo a 66% en el tercer trimestre de 2017. El PIB acumulado del carbón para el 2016 fue de 7.26 billones de pesos. Para el tercer trimestre de 2017 fue de 5.18 billones [17].

Aunque la mayoría del carbón extraído en el país proviene de los yacimientos ubicados en el extremo norte del país, los cuales son explotados por multinacionales mineras como la norteamericana Drummond, existen hacia el centro del país zonas mineras de gran potencial ubicadas en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander, las cuales son ricas en carbón de uso metalúrgico de alta calidad, con gran potencial de exportación y son operadas en su mayoría por pequeños y mediados productores nacionales [16], ver tablas 5 y 6.

**Tabla 5.** Principales proyectos de extracción de carbón en Colombia.

<b>PRINCIPALES PROYECTOS MINEROS EN PRODUCCION EN COLOMBIA</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>PRODUCCION MTON/AÑO</b>
Cerrejón	Guajira - Cesar	33.3
La Guacamaya	Córdoba	0.3
Caribe	Cesar	3.5
El Descanso – La loma	Cesar	23
Calenturitas – El tesoro – La Jagua	Cesar	14.5
Palmarito	Boyacá	0.3
San Miguel	Cundinamarca	Desconocido
Fénix	Norte de Santander	Desconocido

**Tabla 6.** Clasificación de los tipos de carbón presentes en la zona de influencia del proyecto.

<b>CARBON TERMICO</b>		<b>CARBON METALURGICO</b>	
<b>Material volátil</b>	32% - 36%	<b>Material volátil</b>	18% - 28%
<b>Humedad</b>	4% - 6%	<b>Humedad</b>	4% - 6%
<b>Cenizas</b>	12% - 14%	<b>Cenizas</b>	< 10%
<b>Azufre</b>	< 1%	<b>Azufre</b>	< 0.9%
<b>FSI</b>	< 3%	<b>FSI</b>	6% - 7%
<b>Poder calorífico</b>	6800 – 7200 kcal/kg	<b>Poder calorífico</b>	7900 – 8200 kcal/kg
<b>Precio por Ton</b>	79.74	<b>Precio por Ton</b>	229.1 USD *

\* Datos reportados al 4 trimestre de 2017

En la zona de influencia del proyecto del Tren del Carare, la industria minera está en su mayoría enfocada en el carbón, en especial en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, según Rodolfo Higuera Garzón, sociólogo especialista en responsabilidad social:

*Las principales zonas mineras de Boyacá se encuentran ubicadas en el norte, suroccidente y centro del departamento. La minería de carbón que se desarrolla es subterránea y se caracteriza por operaciones a pequeña y mediana escala. Según el último censo minero hecho por el Ministerio de Minas y Energía (MME), de las 14.357 unidades de producción minera (UPM) censadas en Colombia, el 18 % están ubicadas en Boyacá, siendo así el departamento con más UPM en el país. Este panorama contrasta con sus bajos niveles de producción, ya que Boyacá es el cuarto productor de carbón con cerca del 3,21 % de la producción nacional (Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minera, 2012, p. 49), lo que demuestra que las operaciones que se desarrollan actualmente no son las más eficientes.*

En total las reservas medidas en la zona carbonífera de Boyacá ascienden a 253 millones de toneladas [18], como se muestra en la tabla 7, las empresas siderúrgicas y termoeléctricas son los principales consumidores del carbón metalúrgico y del carbón térmico que se producen en el norte y suroccidente del departamento, mientras que las empresas dedicadas a la coquización del carbón para exportación son los principales consumidores del carbón que se produce en la zona centro [19].

El carbón térmico es el más común en el mundo, se caracteriza por tener una menor proporción de carbono y un mayor contenido de humedad con respecto al carbón metalúrgico o coquizable. Se usa principalmente para producir calor en hornos de generación de vapor para la producción de energía eléctrica. El carbón metalúrgico o coquizable tiene gran contenido de carbono, bajo contenido de fósforo y azufre, y menor contenido de humedad que el carbón térmico. Se usa para la producción de acero, debido a que mezclando minerales de hierro con carbón se obtiene una aleación en la que el hierro se enriquece en carbono, obteniendo mayor resistencia y elasticidad. Al ser más escaso que el térmico, su costo es mayor.

**Tabla 7.** Reservas de carbón de la zona de influencia del proyecto.

Municipio	Reservas (millones de Ton)			Potencial	Tipo	Proporción
	Medidas	Indicadas	Inferidas			
C/marca	161,01	489,21	661,09	1312,2	Térmico	62%
	97,48	287,6	190,83	555,91	Metalúrgico	38%
Boyacá	153,23	690,2	187,37	2230,8	Térmico	60%
	100,8	413,91	466,17	980,88	Metalúrgico	40%
Santander	62,22	332,49	344,92	739,63	Térmico	61%
	39,86	152,12	280,73	472,7	Metalúrgico	39%

Uno de los mayores problemas que tienen los productores de carbón del departamento de Boyacá es de índole logístico y de infraestructura, ya que los costos de producción son bajos, pero los costos de transporte del material para sacarlo al mercado se elevan debido al precario estado de las vías que conectan los principales municipios productores, las cuales en su gran mayoría son carreteras sin pavimentar.

Las reservas cuantificadas en el departamento de Cundinamarca son del orden de 260 MT en una extensión de 3400 km<sup>2</sup>. A septiembre de 2016, la producción de carbón del departamento de Cundinamarca fue de 1.775 mil toneladas, representando el 2,61% de la producción nacional; Cucunubá con 532 mil toneladas en promedio es el municipio de mayor participación (29,94%), seguido Guachetá con 368 mil toneladas (20,73%), Sutatausa con 341 mil toneladas (19,22%) y Lenguaque con 271 mil toneladas (12,23%) [20].

Un porcentaje significativo de los ingresos de los municipios de la región tiene origen en las regalías del carbón y en los Impuestos de Industria y Comercio, también asociados con la actividad minera de carbón. En casos extremos como los de Guachetá y Sutatausa, las regalías representan 22% y 19% de los ingresos municipales totales [21].

Al igual que en Boyacá, los pequeños y medianos productores de carbón del departamento de Cundinamarca se enfrentan a altos costos de transporte resultado de la

ubicación de las minas y la dificultad para sacar el producto de la región. En el departamento de Santander, las estimaciones son de alrededor de 101 millones de toneladas de carbón. La minería realizada en este departamento es en su mayoría artesanal y los pequeños productores comercializan su producto internamente.

Una de las principales desventajas en cuanto a la competitividad con las multinacionales extranjeras ubicadas en los departamentos del Cesar y La Guajira, es la dificultad en el transporte del material extraído en el interior del país hacia las zonas de transporte y exportación. Al respecto, la Asociación Nacional de Instituciones Financieras dice:

*El transporte carretero es una de las modalidades que arrojan el mayor costo por tonelada/km, alrededor de US\$46.5 para el sector minero, esto debido a que la red de carreteras de acceso entre boca de mina y los centros de acopio y/o beneficio generalmente es de bajas especificaciones. (...) Colombia no cuenta con una red férrea que comunique las regiones mineras del interior del país con los puertos de exportación. Dicho fenómeno asociado con una minería de pequeña escala y poco tecnificada en dicha región genera importantes costos no solo en términos competitivos, sino también ambientales.*

Los costos promedio asociados a este transporte son de aproximadamente un 35% del costo total por tonelada de carbón térmico cuando se realiza por modo carretero, lo que significa que en promedio cuesta alrededor de US\$46.5 transportar una tonelada de carbón por carretera. Esto se contrapone al costo promedio de transportar una tonelada de carbón por modo férreo, que para el 2012 era de US\$6.4, apenas el 6% del costo total por tonelada.

Sin embargo, el costo de transportar una tonelada de carbón por carretera varía dependiendo del corredor por el que se transporta. Así, la carga que se mueve desde el interior tuvo un costo promedio de US\$54.1 para el caso de Boyacá y de US\$39.7 para Antioquia. Para la zona bajo estudio se presentan costos asociados al transporte del orden de los 50% por

tonelada de carbón transportado por carretera, lo cual genera un gran impacto en el precio final del mineral y sobre las ganancias de los mineros del centro del país. Es de destacar que para los tramos con la información suficiente, se presentan costos de transporte en tren que van del 3.5% al 12% dependiendo del tramo [1]. En el caso del carbón metalúrgico para el año 2012 se estimaron costos de US\$ 77.3 por tonelada [22], los cuales incluyen los costos logísticos y de transporte asociados a este tipo de carbón, ya que estos costos aumentan a causa de los procesos adicionales como la coquización, los cuales también demandan un transporte adicional.

En la tabla 8, de acuerdo a la Asociación Nacional de Instituciones Financieras [1] se muestran los costos de transporte asociados al carbón desde municipios de la zona de influencia del proyecto (Duitama, Samaca y Sogamoso) hasta los puertos de embarque en la costa y los costos de transporte de algunos tramos en los que existen ferrovías.

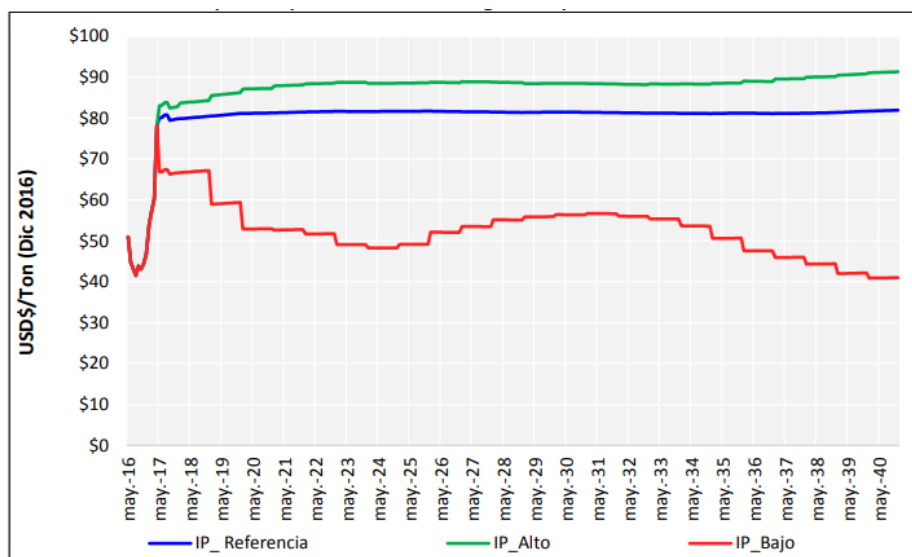
**Tabla 8.** *Costos del transporte de carbón por tramo.*

<b>Tramo</b>	<b>Modo Férreo (US\$)</b>	<b>Modo Carretero (US\$)</b>	<b>Costo transporte (%)</b>
La loma – Sta. Marta	3.9		3.8
La Jagua – Sta. Marta	11.8		11.5
Cerrejón – Puerto Bolívar	3.6		3.5
Duitama – Sta. Marta		49.0	47.6
Duitama - Barranquilla		45.2	43.9
Duitama - Cartagena		50.3	48.8
Samaca - Barranquilla		53.4	51.9
Sogamoso - Barranquilla		54.8	53.2

#### **2.2.4 Proyección para la industria carbonífera:**

Teniendo en cuenta el comportamiento histórico de los precios del carbón al año 2017, el Departamento de Energía de Estados Unidos planteo una serie de proyecciones teniendo en cuenta una serie de factores, en donde se incluye la demanda del mineral y los precios de fuentes de combustible alternas como el gas. Esta proyección fue recogida por la Unidad de Protección Minero Energética [23] y se muestra en la figura 14.

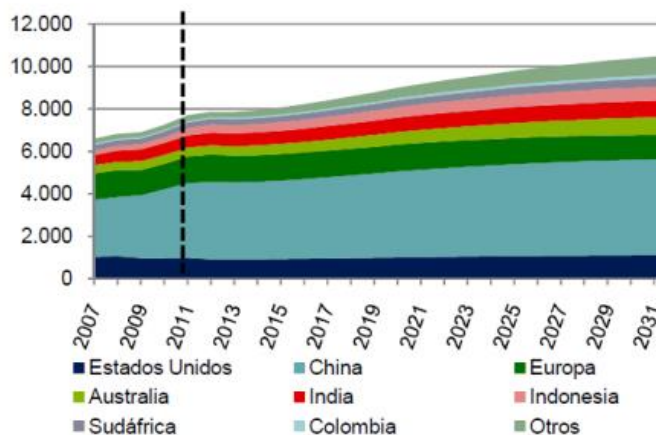




*Figura 14.* Proyección por escenarios del ingreso al productor de carbón colombiano.

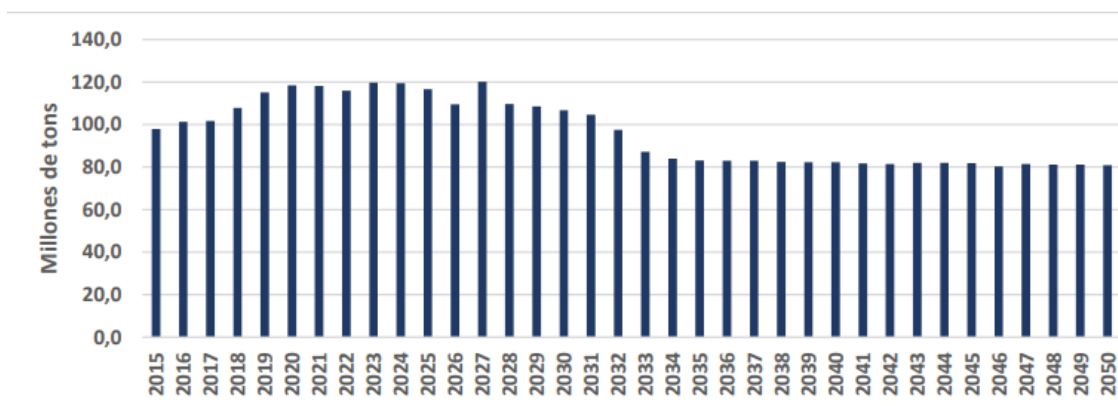
Es importante señalar que al año 2015 los precios internacionales del carbón estaban en un mínimo histórico, causado por el auge del gas para producción energética y la reducida demanda del mineral, sin embargo tal y como se proyectó, los precios han incrementado paulatinamente, presentando durante el año 2018 un precio aproximado de US\$79.74 por tonelada para carbón térmico y US\$229.1 por tonelada para carbón metalúrgico [24], como fue expuesto anteriormente.

En cuanto a la oferta y la demanda del carbón, se han trazado modelaciones y estudios con el fin de caracterizar el mercado nacional e internacional de los minerales estratégicos para el país, entre esos por supuesto el carbón. Los resultados obtenidos para un horizonte hasta el 2031 por la Unidad de Protección Minero Energética [23] se muestran en las figuras 15, 16 y 17 (el presente proyecto se presenta con un horizonte hasta el 2032).



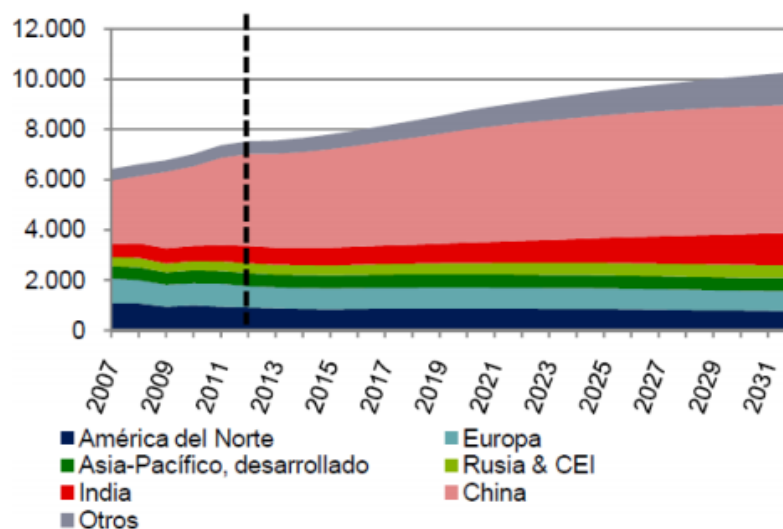
**Figura 15.** Histórico y proyección de la oferta mundial de carbón en millones de toneladas.

Como se mencionó previamente, los mayores productores de carbón son China y Estados Unidos; para el 2016 Colombia presentó su mayor producción, de alrededor de 91 millones de toneladas, producción que se proyecta constante, como se muestra a continuación.



**Figura 16.** Producción proyectada de carbón en Colombia.

Se evidencia una producción constante en la proyección realizada, del orden de los 80 millones de toneladas por año hasta el año 2050. Por otra parte, según los registros históricos proporcionados por la Agencia Nacional de Minería, de los 91 millones de toneladas producidas en 2016 en territorio colombiano, alrededor de 6 millones fueron producidos en la zona de influencia del proyecto, es decir el 6.59%.



*Figura 17.* Histórico y proyección de la demanda mundial de carbón en millones de toneladas.

### 2.2.5 Ingresos a la nación por la industria carbonífera:

Los principales beneficios para el estado derivados de la explotación de recursos naturales no renovables son los impuestos generales a los que están regidos las empresas dentro del territorio nacional, como el impuesto de renta y adicionalmente, dos tributos exclusivos del sector, las regalías y el canon.

Las regalías son el pago que hacen las compañías petroleras y mineras al Estado Colombiano, por explotar yacimientos de un recurso natural no renovable, por su parte, el canon es un pago al que están sujetos los concesionarios y se compone de un pago anual del canon superficial correspondiente a la totalidad del área de las concesiones. El valor del canon varía de uno a tres salarios mínimos día por hectárea de acuerdo con el tamaño del área [26].

## 2.3 MARCO GEOGRÁFICO

Los ferrocarriles de Colombia, al igual que los de la gran mayoría de América Latina, se dieron como origen a concesiones a finales del siglo XIX. Su infraestructura, como sucede en

casi todos los países, no es hoy esencialmente diferente a los corredores viales, ya que responden a las mismas necesidades de transporte de todo tipo [3].

Dadas las condiciones geográficas de Colombia, los corredores naturales están en el sentido Sur–Norte y dos de ellos corresponden a los grandes valles del Cauca y del Magdalena. El tercero es el trazado ferroviario oriental que pasa por Bogotá. Estos tres corredores ferroviarios o están funcionando o está prevista su pronta rehabilitación.

A estos tramos podrían agregarse corredores que cruzan y que vinculan los anteriores entre sí y con los puertos del Pacífico y, en el largo plazo, se internen en los extensos Llanos Orientales. Algunos de éstos corresponden a vías actualmente abandonadas.

#### **2.4 MARCO DEMOGRÁFICO**

El área demográfica en la cual se realizara la investigación en el departamento de Cundinamarca, Boyacá y Santander, y por el cual la línea ferroviaria propuesta que va desde Belencito en el Departamento de Boyacá, hasta Vizcaína en el Departamento de Santander.

**Cundinamarca:** Según la proyección hecha por el DANE, la población de Cundinamarca para el año 2013 fue de 2.598.245 personas, de las cuales el 49,9% (1.296.006) eran hombres y el 50,1% (1.302.239) mujeres. La proyección planteó un crecimiento de la población masculina respecto al año 2012 de 1,56%, mientras que el crecimiento para la población femenina fue de 1,61%, lo cual implica que la mayor proporción de mujeres tenderá a aumentar. Los municipios más poblados fueron Soacha (488.995 personas, equivalentes al 18,82% de la población total del departamento), Fusagasugá (129.301), Facatativá (127.226), Chía (120.719) y Zipaquirá (118.267), que conjuntamente sumaron más del 37,9% de la población del departamento. Observando el recuento poblacional reflejado en la pirámide de 2014, que presenta una base dilatada y una cúspide estrecha, se considera una estructura de población joven, con alta

proporción de niños y jóvenes, debido a una alta fecundidad y una alta mortalidad. En este caso, los menores de 20 años representan alrededor del 18% de toda la población y los ancianos (mayores de 65 años) el 7,5 % del total de población, situación que se asocia a las regiones subdesarrolladas. La proporción de población habitando zona rural o urbana es bastante variable entre municipios. Así, por ejemplo, en Fúquene, San Antonio del Tequendama y Quebrada negra solo 4,64%, 7,59% y 8,05% de la población, respectivamente, vivía en la cabecera municipal. Por otro lado, en Soacha, Girardot y Mosquera, 98,79%, 96,63% y 95,53% de la población municipal, respectivamente, habitaba la cabecera municipal. [27].

**Boyacá:** De acuerdo con las proyecciones del censo 2005 del DANE, la población total de Boyacá es de 1.278.061 habitantes para el año 2016, en donde la población masculina representa el 52,24% y la población femenina el 50,21% [28]. La superficie aproximada del departamento es de 23.189 km<sup>2</sup> y sus principales municipios son Tunja, Duitama, Sogamoso, Chiquinquirá, Paipa y Villa de Leyva. Las actividades económicas principales de esta región son la minería (destacándose la producción y explotación de minerales como el carbón, las esmeraldas, el acero y el cemento), la agricultura y el turismo [4].

El sistema de transporte ferroviario actualmente presenta dos alternativas de desarrollo a través de proyectos que se encuentran en desarrollo: el tren del Carare, que está en proyecto de planeación, el cual permitirá el transporte de carbón desde Cundinamarca hasta el Caribe y que cruzaría Boyacá en dos líneas, una que pasaría por Chiquinquirá y Saboya desde Cundinamarca y otra que pasaría por Moniquirá, Tunja, Paipa y Tibasosa proveniente desde Barbosa (Santander). El segundo proyecto es la reactivación de la línea del tren turístico que conecta Ventaquemada, Tunja y Sogamoso, la cual se destinaría principalmente a transporte de pasajeros.

**Santander:** Es uno de los treinta y dos departamentos de la República de Colombia. Su capital es Bucaramanga. Está ubicado al noroeste del país, en la región andina, limitando al norte con Cesar y Norte de Santander, al este y sur con Boyacá, al oeste con Antioquia y al noroeste con Bolívar. Para la proyección hecha por el DANE en 2015 se establecieron 2.060.000 habitantes, siendo así el sexto departamento por tamaño de población [4].

## 2.5 ESTADO DEL ARTE

El origen del ferrocarril se remonta al siglo XVI, donde mineros alemanes adaptaron una serie de maderas planas que servían de apoyo a vagones, que a su vez transportaban los materiales extraídos de las minas, pero no fue hasta el desarrollo de los motores impulsados a vapor a finales del siglo XVIII que, gracias a grandes locomotoras, se dio comienzo oficial al transporte de personas y carga, estableciendo con ello las primeras tarifas y horarios comerciales.

En 1830 se construiría la primera línea de ferrocarril, la cual unió las ciudades de Manchester y Liverpool en Inglaterra y que impulsaría el desarrollo ferroviario a lo largo de ese país (ver figura 18). A pesar de la poca vida útil de las primeras locomotoras y del inmenso capital requerido inicialmente, los ingresos derivados del transporte de personas y de mercancías eran enormes, lo que hizo que dicho medio de transporte creciera de manera colosal, y con él el desarrollo de la industrial. Eventualmente países como Estados Unidos, Canadá, Francia y Alemania siguieron el modelo británico, desarrollando sus propias líneas férreas para darle un empuje a su economía.



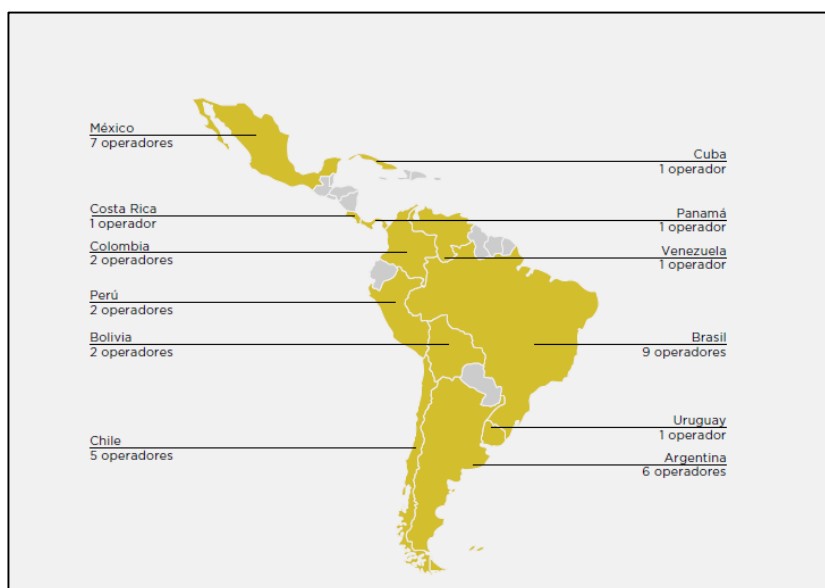
*Figura 18.* Estampilla del ferrocarril de 1830 de Manchester y Liverpool [29].

En el caso de Latinoamérica, la primer etapa de la implementación de este sistema comenzó hace casi un siglo y medio, la cual fue ejecutada gracias a la aparición de concesiones, cuyos capitales fueron proporcionados principalmente por norteamericanos, franceses e ingleses, países que poseían el capital y el conocimiento necesario para ejecutar proyectos de tal magnitud. Con la construcción de las primeras líneas férreas en Argentina y México se impulsó el desarrollo social y económico de la región, ya que viajes que usualmente tardaban días, ahora no tomaban más de un par de horas. A la par de Argentina y México, países como Brasil, Chile, Perú, Bolivia y Colombia desarrollaron sus propios sistemas, los cuales tuvieron su auge en las primeras décadas del siglo 20.



*Figura 19.* Primer ferrocarril de América del Sur, Lima - El Callao [30].

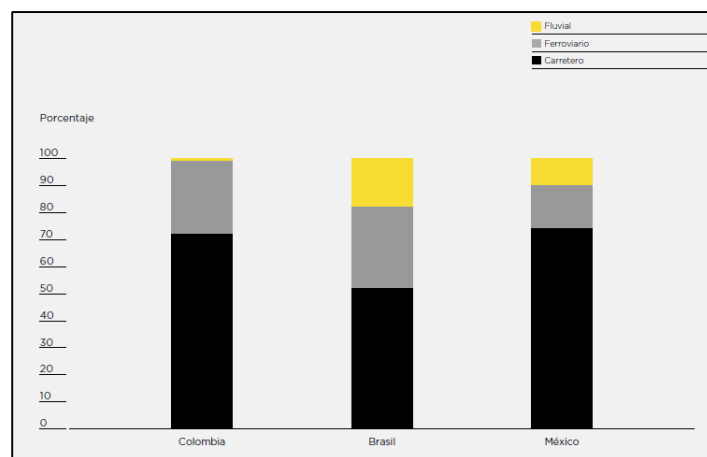
Con el pasar de los años, y teniendo en cuenta que en los años 1930 - 1940 comenzó la expansión de la industria automotriz, la actividad ferroviaria sintió un golpe de competencia debido al acelerado crecimiento del transporte por medio del automóvil. Fue por estos años que los sistemas ferroviarios pasaron a ser manejados casi en su totalidad por el estado, surgiendo grandes empresas como Ferrocarriles Nacionales de Colombia para el caso de nuestro país y una serie de operadores públicos y privados en los demás países de la región (figura 20).



*Figura 20.* Operadores ferroviarios de Latinoamérica [3, p. 47].



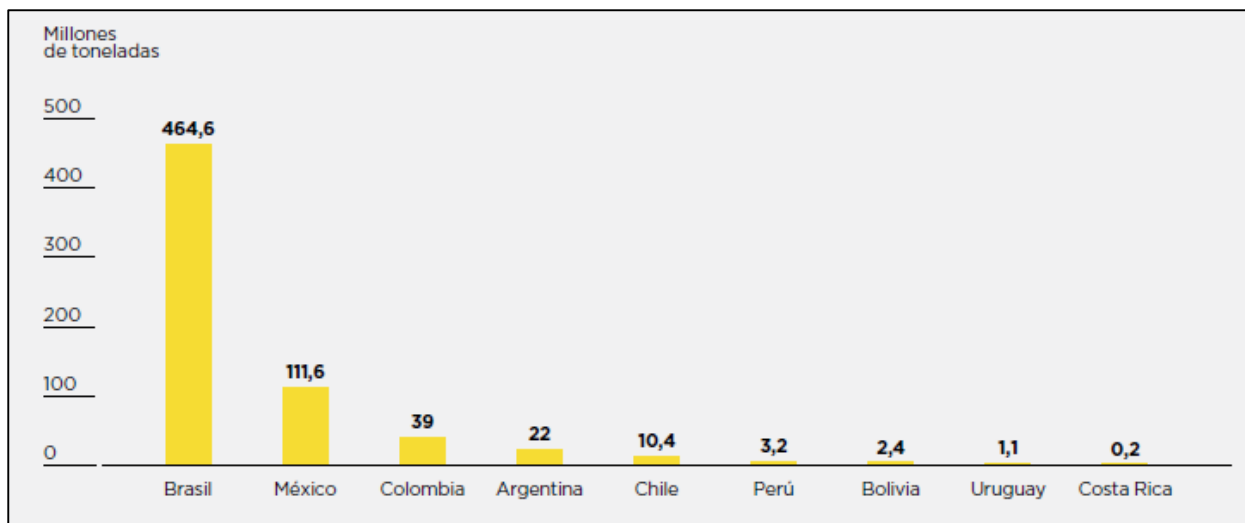
Debido a las políticas implementadas en casi la totalidad de la región, los ferrocarriles pasaron a un segundo plano con respecto al transporte automotor, sumado a que por falta de capital, las locomotoras y el sistema en general no contó con el debido mantenimiento, derivando en fallas que ocasionaron retrasos y en muchas ocasiones la imposibilidad de completar los recorridos.



**Figura 21.** Participación ferrocarril-camión en Latinoamérica [3]

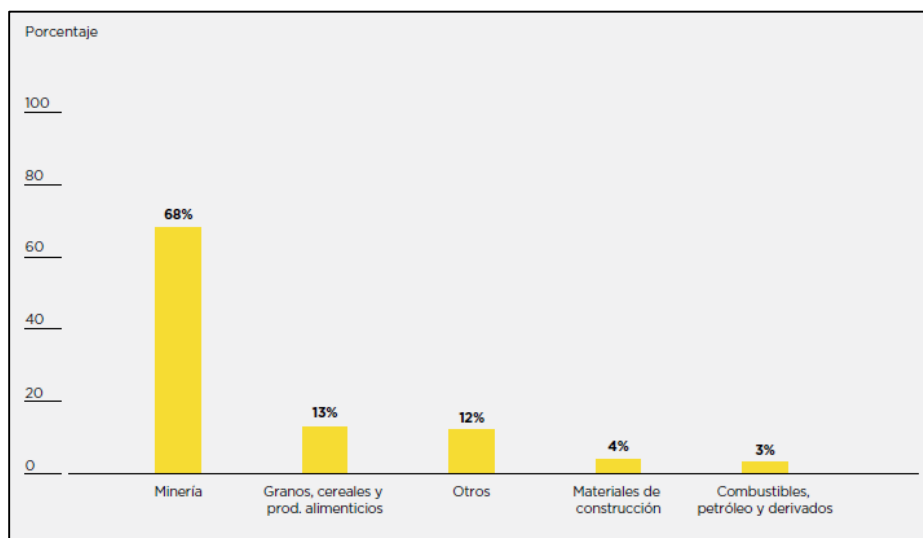
Los resultados económicos cada vez menos favorables, provocaron que los sistemas ferroviarios en lugar de ser generadores de productividad como en Norteamérica y Europa, se convirtieran en una carga para algunos países latinos.

Según Kohon *et al* [3], dentro de los países vecinos, el mayor desarrollo férreo se ha dado en Brasil y esto se refleja en la cantidad de toneladas de carga transportadas (figura 22), seguido por México y Colombia, quien a pesar de las dificultades expuestas en el presente documento se las ha arreglado para transportar la nada despreciable suma de 39 millones de toneladas de carga.



*Figura 22.* Tonelaje transportado en 2013 por países de Latinoamérica.

Dentro de los productos transportados la minería es el más importante, lo cual se ve reflejado en que alrededor del 90% de la carga transportada en Colombia corresponde al carbón; los demás productos de importancia son los productos alimenticios, los materiales de construcción y los combustibles, como se muestra en la figura 23 [3].



*Figura 23.* Carga mayormente transportada en Latinoamérica.

En el ámbito internacional, actualmente los modelos de desarrollo económico que tienen al ferrocarril de carga como protagonista, son los modelos norteamericanos y alemanes.

**Estados Unidos:** Los ferrocarriles de carga juegan un papel importante en la economía de los Estados Unidos. La red ferroviaria de carga americana se considera el mejor en el mundo. En términos de toneladas-millas, los ferrocarriles anualmente mueven más del 25% de la carga de los Estados Unidos y unen negocios el uno con el otro a través del país y con mercados en el extranjero. También directamente contribuyen decenas de mil millones de dólares cada año a la economía a través de salarios, compras, ventajas del retiro e impuestos [31].

**Alemania:** El sector ferroviario es uno de los sectores industriales clave dentro de la economía alemana. La industria ferroviaria alemana cuenta con más de 1600 empresas, proporcionando empleo a aproximadamente 200.000 trabajadores. Esto convierte a la industria ferroviaria en uno de los sectores claves dentro de la economía alemana.

De acuerdo a Gonzales I. [32], “El éxito de la industria ferroviaria alemana se basa principalmente en (...) que las Pymes del sector férreo sean cada vez más competitivas. La gran variedad de pequeñas y medianas empresas es única en Alemania, todo lo que se necesita para la producción de sistemas ferroviarios se encuentra, en alta tecnología, en el propio país que son principalmente proveedores de componentes y sistemas eléctricos y automáticos.”

**Canadá:** La red ferroviaria en Canadá está integrada por 72.912 kilómetros y conecta al Oeste con el Este del país yendo de Vancouver a Toronto, pasando por Calgary y Winnipeg, ruta por la que en 2016 se reportó un tráfico de 795.315 millones de toneladas, de acuerdo con la Asociación de Ferrocarriles de Canadá (RAC). Se destaca que esta misma ruta la siguen tanto pasajeros como carga a través del Via Rail y de las ferroviarias Canadian National Railway con quien comparten el 90% de las vías y Canadian Pacific Railway, con quien comparten el resto. El

tren de carga conecta al país y le comparte la vía al de pasajeros. Los trenes de carga tienen prioridad y si llegan a presentarse retrasos en alguno de los trayectos son manejables debido a que hay una buena logística entre el movimiento de los trenes de pasajeros y de carga [33].

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 TIPO DE ESTUDIO**

El presente será un estudio de tipo exploratorio, cuyo objetivo será impulsar investigaciones relacionadas al tema de estudio, mediante una evaluación preliminar del estado actual del transporte de carga en Colombia y la determinación de la viabilidad de la construcción del Tren del Carare, con el fin de que se optimicen los costos del transporte de carga proveniente de la industria carbonífera del sector.

#### **3.2 FASES DEL TRABAJO DE GRADO**

- a. Recolección de información: En la primera fase del trabajo de grado se trabajará recolectando información de fuentes bibliográficas de calidad y realizando reuniones con expertos sobre el tema para lograr direccionar el proyecto hacia un correcto enfoque.
- b. Depuración y redacción: Se comenzará con la síntesis de la información recolectada en el literal a, en esta fase se comenzará con la redacción de las actividades dentro de las cuales se incluirán el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, delimitación, marcos de referencia y metodología a utilizar en el desarrollo del proyecto.
- c. Análisis de información: En la tercera fase del trabajo de grado se realizará un análisis de la información suministrada por las distintas fuentes, determinando cual será el trazado planteado en el Plan Maestro de Transporte para el Tren del Carare, extrayendo los datos de importancia para pasar a la etapa de viabilidad y realizando un estudio detallado sobre

el sector carbonífero y de cómo éste podrá ser beneficiado con la construcción de la línea férrea.

- d. Viabilidad: En esta fase se tomarán los resultados obtenidos en las fases previas para determinar los beneficios potenciales en la implementación del sistema férreo en el tramo Belencito - Vizcaína, destacando las ventajas que tiene este sistema para potenciar y optimizar la explotación de recursos carboníferos de la zona de influencia del proyecto.
- e. Análisis de resultados: en esta etapa y teniendo en cuenta el resultado de la fase de Viabilidad, se tratará de responder a la pregunta problema y a su vez realizar la validación de la hipótesis planteada.
- f. Conclusiones y Recomendaciones: será la fase final del trabajo de grado, en donde se consignarán las apreciaciones finales de los autores.

### **3.3 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS**

- Revisión bibliográfica de información primaria y secundaria.
- Juicio de expertos en los temas relacionados con transporte y sistema férreo.
- Entrevistas a autores de material relacionado a los temas mencionados.
- Análisis de documentos de archivos oficiales.
- Análisis comparativo.
- Implementación de herramientas de diseño de vías para determinación de trazado preliminar.
- Análisis financiero para determinación de viabilidad económica.

### **3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES**

Nombre del Proyecto
Estudio de viabilidad económica del tren de transporte de carbón del Carare

<b>Descripción del alcance del producto</b>	
<b>Requisitos</b>	<b>Características</b>
Toda la información consignada en el documento tendrá como fuente bibliografía actualizada y verídica.	Se entregarán documentos en digital al tutor del proyecto, correspondientes a trabajo escrito y artículo en normas IEEE.
El documento deberá responder la pregunta problema.	La respuesta a la pregunta problema estará debidamente consignada en las conclusiones del documento.
A falta de diseños oficiales, el documento deberá representar un trazado preliminar de la vía férrea	Diseño geométrico del trazado, teniendo en cuenta las características geográficas del terreno.
Realizar los correspondientes estudios previos que presenten un buen grado de fiabilidad.	El documento deberá presentar el apartado correspondiente a bibliografía, cumpliendo con las normas IEEE para las referencias.
Realizar el estudio bajo un marco normativo y legal vigente.	El proyecto se realizará bajo el marco jurídico de Colombia.
Presentar los resultados / recomendaciones / conclusiones del estudio financiero correspondiente	Se deberá trabajar con datos verídicos, por lo que la bibliografía consultada debe ser variada

<b>Criterios de Aceptación del producto</b>	
<b>Conceptos</b>	<b>Criterios de Aceptación</b>
<b>Técnicos</b>	El documento entregado presentará recomendaciones consistentes en un estudio previo debidamente sustentado y regido bajo la normativa colombiana, además se garantizará que los procesos realizados serán hechos por profesionales capacitados. Se procurara entregar un documento que sustente la viabilidad en la construcción del tramo bajo estudio con base en su trazado, los costos estimados y el impacto económico probable.
<b>De Calidad</b>	El proyecto se realizará bajo los estándares de la especialización en Gerencia de Obra.
<b>Comerciales</b>	El documento entregable será para uso académico, y será propiedad de sus autores y de la Universidad Católica de Colombia.
<b>Sociales</b>	El documento entregable deberá presentar y/o recomendar la mejor alternativa teniendo en cuenta el componente social de la zona de influencia del proyecto.

<b>Exclusiones del Proyecto</b>
No se deberán entregar documentos adicionales al proyecto, a menos que sean anexos o memorias de cálculo que pertenezcan a algunos de los ítems previamente descritos.

<b>Restricciones y limitaciones del proyecto</b>
Se restringe el estudio al sistema férreo comprendido entre los municipios de Belencito en el departamento de Boyacá y la zona conocida como Vizcaína en el departamento de Santander.
Se limitará el estudio al transporte de carga proveniente de la industria carbonífera de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander.
Se tomarán como únicas entradas de tipo técnico, la bibliografía debidamente referenciada de fuentes fiables, como el Banco Interamericano de Desarrollo, el Ministerio de Transporte, La Agencia Nacional de Infraestructura, el Departamento Nacional de Planeación y artículos científicos y de investigación debidamente certificados.
Se restringe el proyecto a la zona de influencia del tramo planteado, es decir la comprendida por los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander
Se tomarán como referencia en cuanto a construcción, costos y operación, los tramos en operación por el estado, los manejados por entes privadas y los sistemas férreos de otros países cuando así sea aclarado dentro del documento.
Debido a la falta de planos, diseños y presupuesto oficial del proyecto, se limita el estudio a los diseños preliminares realizados por los autores con el único objeto de determinar el costo aproximado del proyecto.

## **4 PRODUCTOS A ENTREGAR**

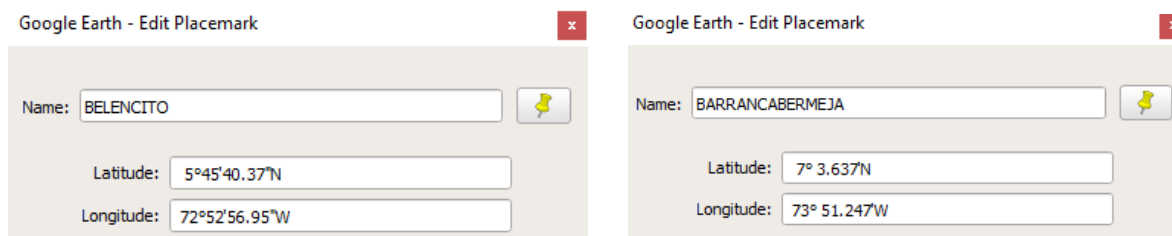
### **4.1 TRAZADO PRELIMINAR DE LA VÍA FÉRREA**

El proyecto conocido como “Tren del Carare” ha sido objeto de planes para el gobierno y para sectores privados desde hace más de medio siglo. A lo largo de este tiempo se han determinado trazados aproximados a lo que sería la realidad del proyecto, sin embargo no hay planos en detalle del trazado final. Las longitudes que se han estimado en los últimos años se muestran en la tabla 9, pero para realizar una estructuración más real de lo que son los costos del proyecto, se realizó un trazado preliminar con el fin de determinar la longitud de la vía férrea.

**Tabla 9.** Estimaciones de longitud final del Ferrocarril del Carare.

Fuente	Longitud planteada
Plan Maestro de Transporte Intermodal	420 km
Ministerio de Transporte	477 km (403 km de vía nueva)
Corporación para el desarrollo del Ferrocarril del Carare	376 km
José Alvear Sanín (Min. Transporte)	400 km
BNAméricas	397 km
Cámara Colombiana de la infraestructura	463 km

Como se puede observar, se presentan longitudes promedio de 410 km aproximadamente. Por medio del Software Google Earth Pro, con su herramienta de estimación de longitudes y perfiles de vía, se realizaron diferentes aproximaciones, en las que se evaluó un perfil adecuado para la construcción del ferrocarril, para ello se comenzó por tomar las coordenadas de los dos puntos que conectará el tren, los cuales se muestran en la figura 24.

**Figura 24.** Coordenadas de los extremos del trazado.

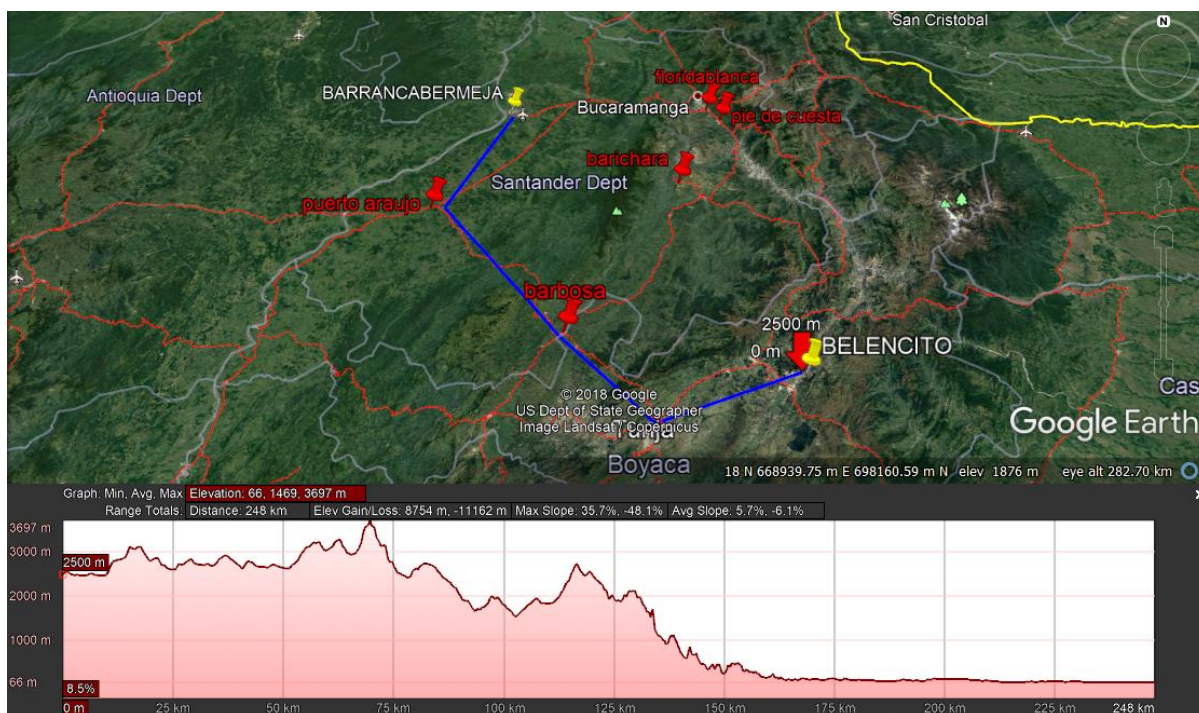
**Aproximación No. 1:** Se parte del principio de la distancia más corta entre dos puntos, para lo cual se realiza el trazado como se muestra en la figura 25. Para esta aproximación se obtiene una distancia total de 184 km. Se puede visualizar en el perfil del trazado que dicha aproximación carece de viabilidad, teniendo en cuenta la geografía de la zona y las enormes pendientes resultantes (pendiente promedio del 11.1%).





*Figura 25.* Primera aproximación al trazado preliminar del ferrocarril del Carare.

**Aproximación No. 2:** Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la primera aproximación, se realiza un segundo trazado teniendo en cuenta el paso de la vía por las ciudades de Tunja y Barbosa en el departamento de Boyacá, y Puerto Araujo en el departamento de Santander. El resultado es una vía de 248 km, con una pendiente promedio del 5.7%, mucho menor que en la primera aproximación pero a todas luces inviable en el sentido constructivo, a causa del enorme movimiento de tierras que involucra.



**Figura 26.** Segunda aproximación al trazado preliminar del ferrocarril del Carare.

**Aproximación No. 3:** Como se muestra en la figura 27, se presenta un trazado (color azul) el cual pasa por las ciudades de Tunja, Barbosa, Barichara, Piedecuesta, Floridablanca, Bucaramanga y Barrancabermeja. Las líneas rojas son carreteras, las cuales parten de un archivo KML proporcionado por el INVIAS que fue cargado a Google Earth. La línea azul muestra el trazado más óptimo según la topografía del terreno entre las 3 rutas mostradas, sin embargo el movimiento de tierras es considerable y la geografía no presenta una condición favorable, teniendo en cuenta que la pendiente promedio de la vía férrea sea cercana a un 5%. Para este trazado la distancia total es de 337 km y la pendiente promedio es de 6.2%.



*Figura 27.* Tercera aproximación al trazado preliminar del ferrocarril del Carare.

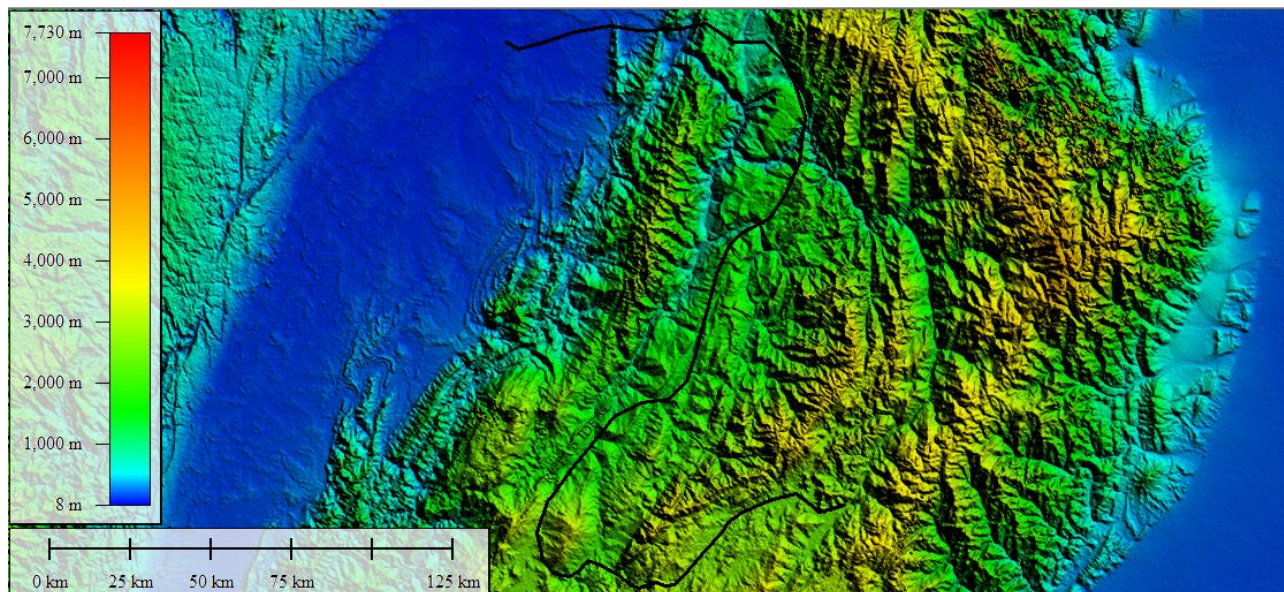
**Trazado preliminar:** Teniendo en cuenta las condiciones expuestas anteriormente, se ajustó nuevamente el trazado, teniendo en cuenta la geografía de la zona y las condiciones de pendiente y longitud resultantes. Se obtuvo una vía con un perfil más regular, una pendiente promedio del 4.3% y una distancia total de 398 km. La pendiente promedio obtenida se encuentra dentro de las normativas exigidas, garantizando que el vehículo pueda ser puesto en marcha, operando continuamente a una velocidad determinada y frenar dentro de su distancia de frenado requerida [34].

Para verificar la longitud obtenida finalmente, se realiza el cálculo en paralelo con el programa Global Mapper 20. En este programa se insertan los datos iniciales, como son la georreferenciación del proyecto en coordenadas UTM, zona 18 para la zona del proyecto y WGS 84 como referencia para el territorio nacional. Adicionalmente se carga el archivo KML obtenido de Google Earth, una vez ingresados los datos iniciales, se procede a trazar la ruta.



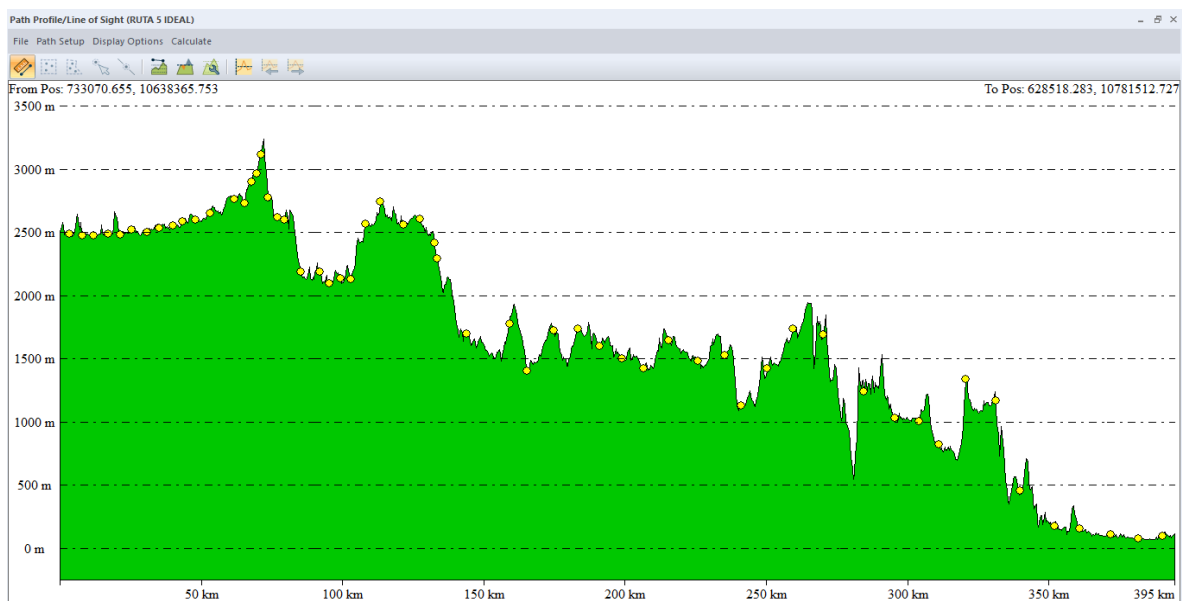


**Figura 28.** Trazado preliminar del ferrocarril del Carare obtenido con Google Earth Pro



**Figura 29.** Trazado preliminar del ferrocarril obtenido por Global Mapper 20.

Así mismo, se procede a determinar el perfil aproximado del trazado.

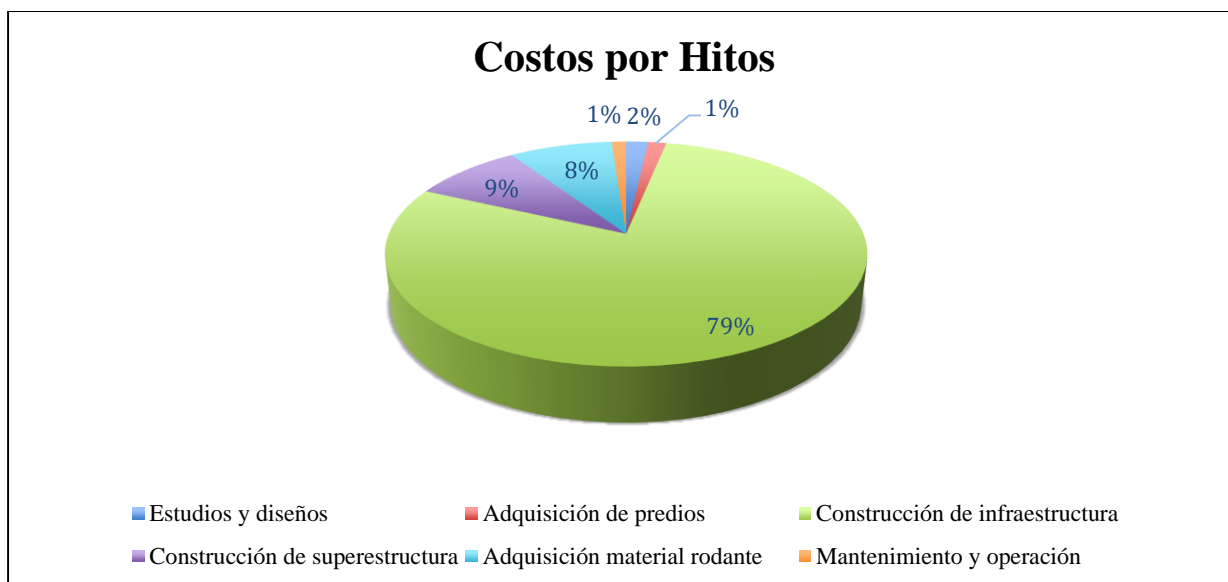


**Figura 30.** Perfil aproximado del trazado preliminar obtenido con Global Mapper 20.

Se visualiza una aproximación muy similar con los dos programas utilizados, además se puede observar que la longitud total resultante de este trazado es muy aproximada a la longitud promedio de las estimaciones hechas previamente por entes privados y estatales, la cual como se mencionó previamente es de 410 km.

## 4.2 DETERMINACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO

Para el año 2012, el costo total del proyecto, incluyendo cada uno de los rubros necesarios para su ejecución a 14 años (Estudios y diseños, adquisición de predios, construcción de infraestructura, construcción de superestructura, adquisición de material rodante y operación), estaba estimado en un total de US\$ 4929 millones, para un total de 477 km de vía férrea, los cuales se componen de 403 km de vía nueva y 74 km de restauración de vía existente [35]. Los hitos en los cuales están desglosados los costos totales, se muestran en la figura 31.



*Figura 31.* Porcentaje del costo por rubros para la construcción del tren del Carare.

Esta estimación realizada por el Ministerio de Transporte fue realizada en el año 2012, la cual arroja unos costos de vía férrea de aproximadamente US\$10.33 millones por kilómetro, incluyendo la totalidad de los hitos mencionados.

Adicionalmente, se realizó la consulta sobre el precio aproximado de un kilómetro de vía férrea en terreno montañoso ante la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Dicha entidad proporcionó una estimación análoga con los proyectos “Sistema férreo multipropósito del Valle de Aburrá”, el cual arroja un estimado de COP\$ 42.250 millones por kilómetro a pesos de hoy, es decir, aproximadamente US\$14.08 millones por kilómetro y “Variante de la red férrea de Pacífico”, la cual arroja un resultado de US\$9.9 millones por kilómetro.

Teniendo en cuenta la información suministrada y el resultado del presupuesto inicial estimado por el Ministerio de Transporte se decide realizar el presente análisis con la cifra de US\$10.33 millones por kilómetro de vía férrea.

Sabiendo el costo promedio por kilómetro de línea férrea (estimado por el Ministerio de Transporte) y el resultado de la longitud del trazado preliminar, se obtiene un costo total aproximado de US\$4.112,7 millones, sin embargo, esta estimación corresponde a valores del 2012, por lo que se realiza una actualización del costo al año 2018 teniendo en cuenta el IPC de los años anteriores, como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10.** *Calculo del costo del proyecto en el año 2018.*

<b>Año</b>	<b>IPC</b>	<b>Costo en USD Millones</b>
<b>2012</b>	0%	4112,67
<b>2013</b>	1,94%	4192,45
<b>2014</b>	3,66%	4345,90
<b>2015</b>	6,77%	4640,11
<b>2016</b>	5,75%	4906,92
<b>2017</b>	4,09%	5107,61
<b>2018</b>	2,63%	5241,94

Para lograr establecer el flujo de costos del proyecto, se tomaron los resultados de los porcentajes aproximados de los costos por hitos fijados por el Ministerio de Transporte mostrados en la tabla 11, obteniendo los costos totales por hitos como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11.** *Resumen del costo de los hitos del proyecto*

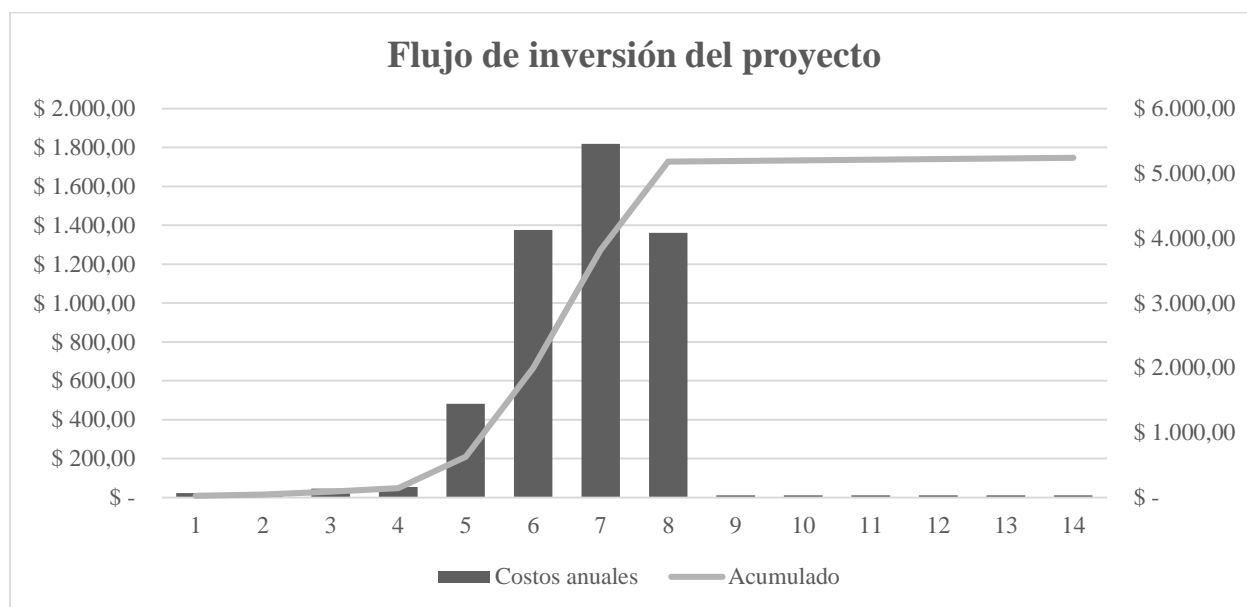
<b>Hito</b>	<b>Subtotal hito (USD Millones)</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Estudios y diseños</b>	\$ 91,67	1,75%
<b>Adquisición de predios</b>	\$ 76,10	1,45%
<b>Construcción de infraestructura</b>	\$ 4.125,28	78,70%
<b>Construcción de superestructura</b>	\$ 457,30	8,72%
<b>Adquisición material rodante</b>	\$ 430,71	8,22%
<b>Mantenimiento y operación</b>	\$ 60,87	1,16%

Teniendo en cuenta el plan de inversión proporcionado por el Ministerio de Transporte para el año 2012, se calculó el porcentaje de incidencia de cada uno de los hitos del proyecto para cada uno de los 14 años estimados como horizonte del mismo, tal como se muestra en la tabla 12.





Con los costos totales anuales estimados en la tabla 13, se realiza la gráfica mostrada en la figura 32, la cual representa el flujo anual y acumulado de inversión del proyecto.



**Figura 32.** Flujo de inversión aproximado del proyecto.

### 4.3 ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO

El análisis del Beneficio/Costo del proyecto se realizó bajo dos escenarios distintos: con y sin proyecto. A su vez, se tuvieron en cuenta dos diferentes alternativas, las cuales trabajan bajo los siguientes supuestos:

#### **Alternativa 1:**

1. El análisis realizado se basa en las proyecciones de producción y precios del carbón que se tienen para un horizonte de alrededor de 30 años, las cuales fueron expuestas con anterioridad.
2. Se supondrá una extracción similar a la que se ha llevado históricamente, en donde la proporción del tipo de carbón para la zona de influencia es del 60% térmico y 40% metalúrgico o coquizable.
3. Se tomarán los datos de distribución de costos de transporte y producción para una

tonelada de carbón térmico y metalúrgico de las distintas fuentes mostradas en el presente documento.

4. En este caso se omitirá el posible cambio en la dinámica de producción ocasionado por el impacto del proyecto.
5. Se tomarán los niveles de extracción para la zona de influencia como el 6.59% del total de Colombia, cifra promedio durante los últimos años proporcionada por el Ministerio de Minas y Energía.

Teniendo en cuenta las condiciones descritas previamente se realizó la tabla 14, en donde se resume la producción estimada con las proyecciones mostradas en el numeral 2.2.4 del presente documento.

**Tabla 14.** *Cálculo de la producción según tipo de carbón para el área de influencia en horizonte sin proyecto.*

<b>Producción estimada sin afectación por el proyecto (Ton)</b>				
<b>Año</b>	<b>Total Colombia</b>	<b>Total área de influencia</b>	<b>Térmico</b>	<b>Metalúrgico</b>
<b>2019</b>	117.000.000	7.710.300	4.626.180	3.084.120
<b>2020</b>	119.000.000	7.842.100	4.705.260	3.136.840
<b>2021</b>	119.000.000	7.842.100	4.705.260	3.136.840
<b>2022</b>	117.000.000	7.710.300	4.626.180	3.084.120
<b>2023</b>	120.000.000	7.908.000	4.744.800	3.163.200
<b>2024</b>	120.000.000	7.908.000	4.744.800	3.163.200
<b>2025</b>	117.000.000	7.710.300	4.626.180	3.084.120
<b>2026</b>	110.000.000	7.249.000	4.349.400	2.899.600
<b>2027</b>	120.000.000	7.908.000	4.744.800	3.163.200
<b>2028</b>	110.000.000	7.249.000	4.349.400	2.899.600
<b>2029</b>	105.000.000	6.919.500	4.151.700	2.767.800
<b>2030</b>	104.000.000	6.853.600	4.112.160	2.741.440
<b>2031</b>	103.000.000	6.787.700	4.072.620	2.715.080
<b>2032</b>	95.000.000	6.260.500	3.756.300	2.504.200
<b>Total</b>	<b>1.576.000.000</b>	<b>103.858.400</b>	<b>62.315.040</b>	<b>41.543.360</b>

Se puede observar una producción proyectada de aproximadamente 62.3 millones de toneladas de carbón térmico y 41.5 millones de toneladas de carbón metalúrgico durante el horizonte bajo análisis; estas cifras serán tenidas en cuenta para estimar el total de las ganancias calculadas debido a la implantación del proyecto (tabla 15).

**Tabla 15.** Estimación de ganancias en horizonte planteado a causa del proyecto, alternativa 1.

Parámetro	Alternativa 1: Sin incremento en producción			
	Escenario 1 (Sin proyecto)		Escenario 2 (Con proyecto)	
Tipo de Carbón	Térmico	Metalúrgico	Térmico	Metalúrgico
Costos producción por tonelada (US\$)	13,30	38,07	13,30	38,07
Costo transporte/tonelada (US\$)	50,54	98,53	11,80	23,00
Precio internacional carbón (US\$)	80,00	229,00	80,00	229,00
Ganancia promedio por tonelada (US\$)	16,16	92,40	54,90	167,93
<b>Ganancia en horizonte estimado (MUS\$)</b>	<b>1.007,01</b>	<b>3.838,74</b>	<b>3.421,10</b>	<b>6.976,18</b>

Con las ganancias estimadas en los dos escenarios, con y sin proyecto, se procede a calcular el Beneficio del proyecto como la diferencia entre las ganancias obtenidas en el escenario con proyecto y las ganancias obtenidas en el escenario sin proyecto, dando como resultado un Beneficio de US\$ 5.551,52 millones de dólares.

Teniendo en cuenta el costo total estimado del proyecto de US\$ 5.241,94 millones de dólares se calcula una relación Beneficio/Costo (la cual se obtiene de la división del beneficio económico estimado del proyecto sobre el costo total del mismo) de 1.06.

### **Alternativa 2:**

1. El análisis realizado, además de las proyecciones en cuanto a producción y precios del carbón, consideró un incremento gradual de la producción del mineral ocasionado por un impacto positivo del proyecto en los productores de la zona, de un 1% en el primer año,

hasta un incremento del 25% de la producción proyectada para el año 14.

2. Al considerar un cambio en la dinámica de producción de carbón al interior del país, se realiza una suposición en la que la proporción de producción por tipo de carbón se invierte, es decir, 40% de carbón térmico y 60% de carbón metalúrgico a partir el año de puesta en operación del tramo férreo bajo estudio (2027).
3. Para el presente ejercicio, se seguirán tomando los niveles de extracción para la zona de influencia como el 6.59% del total de Colombia, cifra promedio durante los últimos años proporcionada por el Ministerio de Minas y Energía.

**Tabla 16.** *Cálculo de la producción según tipo de carbón para el área de influencia en horizonte con proyecto.*

<b>Producción estimada con afectación del proyecto (Ton)</b>					
<b>Año</b>	<b>Incremento en producción (%)</b>	<b>Total</b>	<b>Área del Proyecto</b>	<b>Térmico</b>	<b>Metalúrgico</b>
<b>2019</b>	0%	117.000.000	7.710.300	4.626.180	3.084.120
<b>2020</b>	1%	120.190.000	7.920.521	4.752.313	3.168.208
<b>2021</b>	2%	121.380.000	7.998.942	4.799.365	3.199.577
<b>2022</b>	3%	120.510.000	7.941.609	4.764.965	3.176.644
<b>2023</b>	4%	124.800.000	8.224.320	4.934.592	3.289.728
<b>2024</b>	5%	126.000.000	8.303.400	4.982.040	3.321.360
<b>2025</b>	6%	124.020.000	8.172.918	4.903.751	3.269.167
<b>2026</b>	10%	121.000.000	7.973.900	4.784.340	3.189.560
<b>2027</b>	12%	134.400.000	8.856.960	3.542.784	5.314.176
<b>2028</b>	14%	125.400.000	8.263.860	3.305.544	4.958.316
<b>2029</b>	16%	121.800.000	8.026.620	3.210.648	4.815.972
<b>2030</b>	18%	122.720.000	8.087.248	3.234.899	4.852.349
<b>2031</b>	20%	123.600.000	8.145.240	3.258.096	4.887.144
<b>2032</b>	25%	118.750.000	7.825.625	3.130.250	4.695.375
<b>Total</b>	<b>N.A.</b>	<b>1.721.570.000</b>	<b>113.451.463</b>	<b>58.229.767</b>	<b>55.221.696</b>

Se puede observar una producción proyectada de aproximadamente 58.2 millones de toneladas de carbón térmico y 55.2 millones de toneladas de carbón metalúrgico durante el

horizonte bajo análisis; estas cifras serán tenidas en cuenta para estimar el total de las ganancias calculadas debido a la implantación del proyecto (tabla 17).

**Tabla 17.** Estimación de ganancias en horizonte planteado a causa del proyecto, alternativa 2.

Parámetro	Alternativa 2: Con incremento en producción			
	Escenario 1 (Sin proyecto)		Escenario 2 (Con proyecto)	
Tipo de Carbón	Térmico	Metalúrgico	Térmico	Metalúrgico
Costos producción por tonelada (US\$)	13,30	38,07	13,30	38,07
Costo transporte/tonelada (US\$)	50,54	98,53	11,80	23,00
Precio internacional carbón (US\$)	80,00	229,00	80,00	229,00
Ganancia promedio por tonelada (US\$)	16,16	92,40	54,90	167,93
<b>Ganancia en horizonte estimado (MUS\$)</b>	<b>940,99</b>	<b>5.102,67</b>	<b>3.196,81</b>	<b>9.273,11</b>

En esta alternativa se producen unas ganancias mayores a causa del cambio en la dinámica de producción, en la cual se incrementa la extracción general de recursos carboníferos en el interior del país y en específico, en la extracción y comercialización de carbón metalúrgico; el cual representa ganancias mayores por tonelada. Realizando el cálculo de la misma manera que en la alternativa 1, el beneficio estimado para esta alternativa es de US\$ 6.426,27, con lo que se obtiene una relación Beneficio/Costo de 1.23.

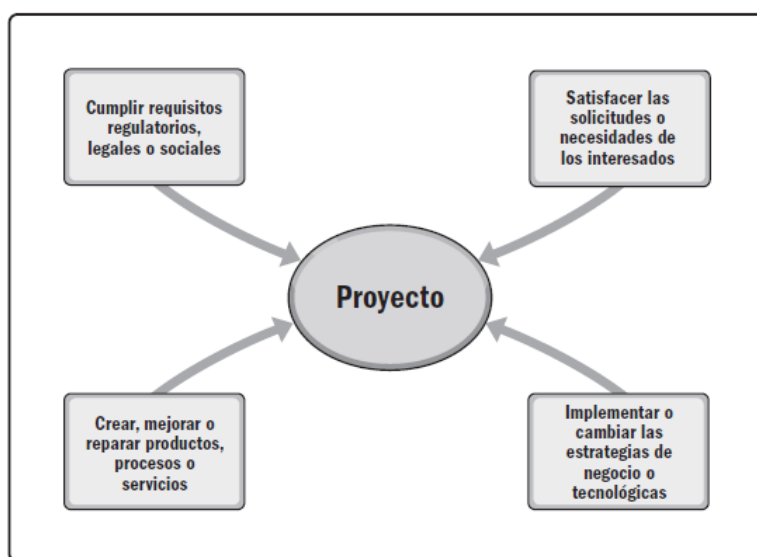
#### 4.4 DETERMINACIÓN DE VIABILIDAD

Después del análisis Beneficio/Costo se obtuvieron valores de 1.06 para la primera alternativa y 1.23 para la segunda alternativa, ambos mayores que 1; lo que indica que desde un punto de vista económico, la reducción de los costos logísticos asociados al transporte del carbón de la zona interior del país hace viable el proyecto en el horizonte bajo análisis.

## 5 ENTREGA DE LOS RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTOS

### 5.1 APORTE DE LOS RESULTADOS A LA GERENCIA DE OBRAS

El proyecto realizado se hizo bajo la óptica de la Gerencia de Obras, se utilizaron las herramientas proporcionadas en la especialización, entre otras: la gestión económica y financiera, gestión y gerencia de proyectos, contratación pública y profundización en gerencia de proyectos, en donde cada módulo aportó competencias académicas que guiaron y trazaron los lineamientos básicos para desarrollar el proyecto de grado. Dentro de las herramientas utilizadas, se destaca la implementación de procesos del PMBOK, ver figura 33.



*Figura 33.* Contexto de iniciación del proyecto [36].

Como se muestra en la figura anterior, la concepción del proyecto tuvo en cuenta el contexto proporcionado por la Guía del PMBOK pues su formulación estuvo profundamente influenciada por las 4 condiciones mostradas: requisitos regulatorios, legales o sociales, satisfacer necesidades de los interesados, crear procesos y servicios e implementar estrategias de negocio.

Dicho esto, los resultados obtenidos ayudan a comprender de manera amplia los procesos de planeación, creación y organización de un proyecto a gran escala desde su fase de anteproyecto, evidenciando los problemas y retos, para este caso, de la industria minera del interior del país y mostrando un diagnóstico general de la infraestructura destinada al transporte de carga existente.

## **5.2 ¿CÓMO SE RESPONDE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN CON LOS RESULTADOS?**

Con los resultados obtenidos en el análisis de las dos alternativas planteadas, se puede determinar como un proyecto económicamente viable, sin embargo se debe aclarar que se deben analizar diferentes factores además del económico, como son técnicos, ambientales y sociales.

## **5.3 ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN**

Se plantea postular el trabajo para ser publicado en revistas de divulgación tanto técnicas, como económicas, como la revista Dinero. De igual manera, debido a la naturaleza del proyecto de investigación y su autoridad intelectual que, además de a sus autores, pertenece a la Universidad Católica de Colombia, se espera poder anexar el trabajo escrito a las bases de datos o la biblioteca universitaria.

## **6 NUEVAS ÁREAS DE ESTUDIO**

Con el fin de complementar un proyecto de esta envergadura, es necesario realizar un análisis multicriterio, considerando los factores que inciden en los demás campos. Por otro lado, debido a las limitaciones con las que se desarrolló el proyecto (expuestas en el apartado de alcance del proyecto), resulta clave realizar los estudios pertinentes en los siguientes niveles:

**Técnico:** Aunque se desarrollaron avances en la concepción del trazado férreo y la estimación de los costos asociados en un horizonte de tiempo determinado, se debe contar con estudios y diseños detallados estructurales, geotécnicos, eléctricos y arquitectónicos para los

aproximadamente 398 km de red férrea estimada.

**Social:** Las implicaciones sociales de un proyecto de esta magnitud, son merecedoras de todo un estudio independiente, puesto que la zona bajo estudio se caracteriza por dedicarse en gran parte a la actividad minera, sustento económico de muchas familias durante generaciones. En cuanto a generación de empleo, la construcción, mantenimiento y operación de esta línea férrea generarían importantes puestos de trabajo, que se deben tener en cuenta para dicho estudio. En el caso de éxito del proyecto, las pequeñas y medianas empresas del sector verían una disminución en los costos logísticos de la producción del carbón, generando riqueza (en regalías e impuestos) para la región.

**Ambiental:** En cuanto a la construcción de la vía férrea, debido a la geografía y la topografía de la zona, se hacen necesarias una gran cantidad de obras de excavaciones, remociones y adecuaciones de terreno que pueden llegar a afectar vegetación o cuerpos de agua importantes, pero sin lugar a dudas en términos ambientales, el mayor impacto está ligado a la extracción de los recursos carboníferos de la región, por lo que se hacen necesarios estudios al respecto, considerando que la dinámica global apunta a la implementación de energías limpias en un futuro. Este cambio de paradigma requiere de un análisis detallado en el sentido en que para un horizonte de un par de décadas, la demanda de este tipo de mineral se puede ver reducida debido a las regulaciones ambientales internacionales. En este sentido, se debe tener en cuenta que la región, además del carbón térmico utilizado para la generación de energía (el cual es más contaminante), posee grandes reservas de carbón metalúrgico, cuya demanda no parece ser tan afectada a futuro como la del carbón térmico.

**Logístico:** Con la implementación del Tren del Carare se deben analizar las mercancías para las que sería pertinente realizar el transporte por modo férreo, ya que los grandes volúmenes



que permite este tipo de transporte y la eficiencia del mismo, permiten la reducción de los costos logísticos. De la misma manera, no se puede descartar a futuro la implementación de ferrocarriles de pasajeros ya que con este trazado se conectan municipios importantes del centro del país como Tunja, Barbosa, Bucaramanga, entre otras. Este es un análisis que requiere de un estudio a profundidad, teniendo en cuenta las dinámicas poblacionales de la región.

## 7 CONCLUSIONES

- Se pudo establecer que con la implementación del trazado planteado, la reducción de los costos de transporte asociados a la logística de la cadena del carbón son suficientes para determinar que el proyecto es viable desde un punto de vista económico.
- La implementación del proyecto representaría ventajas logísticas para los pequeños y medianos productores de carbón térmico y metalúrgico de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, lo que se traduce en beneficios económicos y crecimiento del sector.
- Los costos asociados al proyecto ascienden a US\$ 5.241 millones según nuestros cálculos, por lo que se deben plantear estrategias efectivas para su financiación como préstamos internacionales, inversión estatal y alianzas público privadas, ya que se ha demostrado el gran interés del sector privado y de multinacionales extranjeras en este proyecto.
- Las ventajas de intermodalidad de los diferentes sistemas de transporte de carga del centro del país son muy grandes con la construcción del trazado planteado, debido a que con el Tren del Carare se unen dos puntos estratégicos el centro y el norte del país. Además, dos líneas de gran importancia la línea Bogotá – Belencito, y la línea La Dorada – Chiriguana, contarían con una conexión estratégica para el transporte del carbón.

## 8 RECOMENDACIONES

- Durante la investigación realizada se pudo percibir que faltan programas de formación o profundización por parte de la Academia que permitan desarrollar futuros ingenieros y expertos en el tema ferroviario ya que países vecinos como Argentina y Chile si cuentan con programas orientados al tema ferroviario.
- La Red Férrea del país cuenta con más de 140 años desde su creación en 1869, sin embargo su estado es precario y para un país productor como Colombia, es necesario contar con una red férrea en excelentes condiciones y dando el mejor uso posible debido a su gran potencial, ayudaría a mejorar la economía del país.
- Si el país decide apostarle al resurgimiento del sistema ferroviario, se debe tener en cuenta que el ancho de trocha estándar es obsoleto, considerando los anchos utilizados en la gran mayoría del mundo, además, en términos logísticos el sistema férreo funciona mucho mejor con un solo ancho de vía, no con los múltiples anchos que funciona en la actualidad.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Asociación Nacional de Instituciones Financieras, «Costos de transporte, Multimodalismo y la competitividad de Colombia,» Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá D.C., 2014.
- [2] R. E. Silvera Escudero y D. P. Mendoza Valencia, «Costo logísticos del transporte terrestre de carga en Colombia,» Editorial del Servicio Nacional de Aprendizaje, Barranquilla, 2017.
- [3] J. Kohon, J. Champin, M. Rodríguez y R. Cortés, «Desafíos del transporte ferroviario de carga en Colombia,» Estudio Bilder, Bogotá D.C., 2016.
- [4] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, «DANE,» 30 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/reloj/>.
- [5] Ministerio de Transporte, «Transporte en Cifras Estadísticas 2016,» Publicación Ministerio de Transporte, Bogotá D.C., 2017.
- [6] Jose Alvear Sanín, Historia del transporte y la Infraestructura en Colombia (1492-2007), Bogotá: Ministerio de Transporte, 2008.
- [7] W. M. Prieto, «Universidad Distrital,» 30 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/download/5883/7369>
- [8] Banco de la República, «Banco de la República,» 30 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial->

historia/numero-257/ferrocarriles-en-colombia-1836-1930.

- [9] Departamento Administrativo de Estadística, «PIB: DANE,» 29 Abril 2018. [En línea]. Available: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol\\_PIB\\_IVtrim17\\_oferta\\_demanda.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IVtrim17_oferta_demanda.pdf).
- [10] Banco de la República, «Finanzas: Banco de la República,» 28 Abril 2018. [En línea]. Available: [http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/cgc\\_mar\\_2014.pdf](http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/cgc_mar_2014.pdf).
- [11] Departamento Nacional de Planeación, «Prensa: DNP,» 01 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/2016-05-18%20Director-Seminario%20Infraestructura%20ANIF.pdf>.
- [12] Revista Semana, «El tren no llega,» 01 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.semana.com/economia/articulo/plan-maestro-para-consolidar-red-ferrea/542099>.
- [13] Departamento Nacional de Planeación, «Infraestructura.org,» 1 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.infraestructura.org.co/13congreso/memorias/24/SIMONGAVIRIA.pdf>.
- [14] Ministerio de Transporte de Colombia, «Plan Maestro de Transporte Intermodal,» MINTRANSPORTE, Bogotá, 2010.
- [15] Ministerio de Transporte de Colombia, «Estudio para la elaboración del

marco normativo férreo colombiano enfocado en factores técnicos de diseño, construcción, mantenimiento, operación, control y aspectos de seguridad,» Ministerio de Transporte, Bogotá, 2018.

- [16] Agencia Nacional de Minería, «Carbón: Agencia Nacional de Minería,» 17 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/carbon.pdf>.
- [17] Ministerio de Minas y Energía, «Análisis del comportamiento del PIB Minero,» Bogotá D.C., 2017.
- [18] Unidad de Protección Minero Energética, «UPME Sitio Web,» 17 Mayo 2018. [En línea]. Available: [http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/areas/zonas/indice.htm#CUNDINAMARCA](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/areas/zonas/indice.htm#CUNDINAMARCA).
- [19] R. H. Garzón, «Minería del carbón en Boyacá: entre la informalidad minera, la crisis de un sector y su potencial para el desarrollo,» 17 Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://zero.uexternado.edu.co/mineria-del-carbon-en-boyaca-entre-la-informalidad-minera-la-crisis-de-un-sector-y-su-potencial-para-el-desarrollo/>.
- [20] HSB Noticias, «HCB Noticias Sitio Web,» 17 Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://hsbnoticias.com/noticias/nacional/cundinamarca-es-pionera-en-la-produccion-de-carbon-metalurgi-253838>.
- [21] Federación de Productores de Carbón de Cundinamarca, «Impacto socioeconómico de la minería de carbón en Cundinamarca,» 17 Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://fedecundi.com/resumen.pdf>.

- [22] D. A. R. Campo y S. F. Lafaurie, «Estudio de factibilidad del carbón metalúrgico en Colombia,» Colegio de Estudios Superiores de Administración, Bogotá D.C., 2012.
- [23] Energética, Unidad de Planeación Minero, «Proyección de precios de los energéticos para generación eléctrica,» Bogotá D.C., 2017.
- [24] M. L. Zuleta, «Análisis sectorial: Coque Metalúrgico,» Bolsa Mercantil de Colombia, Bogotá D.C., 2017.
- [25] Unidad de Protección Minero Energética, «Plan nacional de desarrollo minero con horizonte a 2025,» Ministerio de Minas y Energía, Bogotá, 2016.
- [26] N. R. L. Rodríguez, «Estudio de la dinámica competitiva del subsector carbón en Colombia, aplicando el modelo de Competitividad Sistémica del Instituto Alemán de Desarrollo (GDI),» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2016.
- [27] Gobernación de Cundinamarca, Estadísticas Cundinamarca 2011-2015, Bogotá: Calidad de Vida Construye Paz, 2015.
- [28] Wikipedia, «Wikipedia,» 20 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Boyac%C3%A1>.
- [29] Can Stock Photo, 02 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.canstockphoto.es/ferrocarril-liverpool-manchester-5246925.html>.
- [30] Banco Interamericano de Desarrollo, 02 Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://logisticsportal.iadb.org/node/4213>.
- [31] Helves EU, 02 Mayo 2018. [En línea]. Available:

<http://www15.helpe.eu/01085214/TransporteFerroviarioEnLosEstadosUnidos>.

- [32] I. G. Gonzales, «El mercado ferroviario en Alemania,» 29 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.crisisycontratacionpublica.org/wp-content/uploads/2014/10/ICEX.El-mercado-ferroviario-en-Alemania.2014.pdf>.
- [33] I. G. Morales, 29 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://t21.com.mx/ferroviario/2017/07/20/trenes-canadienses-carga-pasajeros-convivencia>.
- [34] Ministerio de Transporte, «Manual de Normatividad Ferrea,» Ministerio de Transporte, Bogotá D.C., 2013.
- [35] Ministerio de Transporte, «Estudio de viabilidad y conveniencia del cambio de trocha yárdica a trocha estándar y sus impactos en el transporte de carga y pasajeros,» Bogotá D.C., 2012.
- [36] Project Management Institute, Guía de los fundamentos para la dirección del Proyecto (guía del PMBOK), Quinta Edición ed., Pensilvania: Project Management Institute, Inc., 2013.
- [37] G. A. d. Greiff y P. K. Dewhurst., La Segunda Mula de Hierro: Historia de los ferrocarriles colombianos a través de sus locomotoras, Bogotá: G. Arias de Greiff, 2006.
- [38] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, «Empleo: DANE,» 30 Abril 2018. [En línea]. Available: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech/bol\\_empleo\\_mar\\_18.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/ech/bol_empleo_mar_18.pdf).

- [39] Banco de la República, «Índice de términos de intercambio: Banco de la República,» 30 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.banrep.gov.co/es/indice-terminos-intercambio>.
- [40] Banco de la República, «Boletín de deuda externa: Banco de la República,» 01 Mayo 2018. [En línea]. Available: [http://www.banrep.gov.co/economia/pli/bdeudax\\_t.pdf](http://www.banrep.gov.co/economia/pli/bdeudax_t.pdf).
- [41] J. C. M. R. R. C. Jorge Kohon, Desafíos del transporte ferroviario de carga en Colombia, Colombia: BID, 2016.
- [42] DANE, «ICER INFORME DE COYUNTURA ECONÓMICA REGIONAL,» Edición, diseño e impresión DANE Banco de la Republica, Armenia, 2016.
- [43] Wikipedia, 17 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Santander>.
- [44] Cámara Colombiana de la Infraestructura, «Seguimiento a Proyectos de Infraestructura,» Bogotá, 2013.
- [45] C. p. e. d. d. F. d. Carare, «Ferrocarril del Carare. Evolución del Proyecto.,» Bogotá, 2010.
- [46] M. d. M. y. Energía, «Análisis del comportamiento del PIB Minero,» Bogotá D.C., 2017.