



Maestría en  
Gerencia  
de Proyectos



**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA  
FÉRREO ENTRE MEDELLÍN Y EL URABÁ ANTIOQUEÑO**

**SANTIAGO HERNÁNDEZ ALEMÁN  
ALEJANDRO CARDONA VALENCIA**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS  
MEDELLÍN  
2018**

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA  
FÉRREO ENTRE MEDELLÍN Y EL URABÁ ANTIOQUEÑO**

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de magíster en  
Gerencia de Proyectos**

**SANTIAGO HERNÁNDEZ ALEMÁN<sup>1</sup>**

**ALEJANDRO CARDONA VALENCIA<sup>2</sup>**

**Asesora: María Cecilia Henao Arango, MBA**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS  
MEDELLÍN  
2018**

---

<sup>1</sup> hernandezaleman23@gmail.com

<sup>2</sup> acvcardona@hotmail.com

## **Agradecimientos**

Queremos agradecer a los profesores Elkin Arcesio Gómez, Jhon Miguel Díez, Mauricio Tovar y Mariana Bravo por haber puesto a nuestra disposición sus conocimientos. A Juan Camilo Agudelo por haber dedicado su tiempo e interés en nuestro trabajo. Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestra asesora, María Cecilia Henao, por haber sido parte de este proceso; su conocimiento y dedicación fueron pilares fundamentales para cumplir esta meta.

### **Santiago**

A mis padres porque son el mejor ejemplo de esfuerzo y dedicación. Han sido un apoyo constante en todo mi proceso de formación. A Fibras Ingenieriles por poner a mi disposición todos sus recursos. A Constructora Conconcreto por brindarme las facilidades para realizar este trabajo.

### **Alejandro**

A mis padres por haber forjado la persona que soy en la actualidad, todos mis logros se los debo a ustedes, gracias porque me formaron con reglas y con libertades que, al fin de cuentas, me motivaron día tras día para alcanzar mis sueños.

## Resumen

El estudio de prefactibilidad para el desarrollo de un sistema férreo entre Medellín y el Urabá antioqueño es una propuesta que surgió a partir de la necesidad de optimizar, en términos de tiempo, costo y seguridad, el transporte de carga y pasajeros entre la costa caribe y el centro del país que se fundamenta en la proyección a corto y mediano plazo de la repotencialización de la infraestructura portuaria en el golfo de Urabá.

Este trabajo tiene como objetivo general brindar criterios que permitan tomar una posición, en etapas tempranas del proyecto, con respecto a la inversión de nuevos recursos en etapas posteriores. Para cumplirlo se tuvieron, como marco de referencia, los lineamientos propuestos por la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

El ejercicio tomó elementos de las fases de preinversión, inversión y operación con el fin de tener una perspectiva amplia de lo que será la ejecución del proyecto en su ciclo de desarrollo. El trabajo se segmentó en cinco partes, en las que las actividades que se desarrollan en cada una de ellas tienen una finalidad común y específica. Mediante el análisis de los resultados de estas actividades en forma conjunta se consolidaron los datos que permitieron concluir con una posición de inversión.

**Palabras clave:** sistema férreo, fase de preinversión, estudio de prefactibilidad, *Project Finance*, infraestructura portuaria de Urabá.

**Abstract**

*The prefeasibility study for the development of a rail system between Medellin and Urabá, it's a proposal that arises from the need to optimize costs, times and security risks of passengers and cargo transportation between the coast and the center of the country; which is based on the short and medium-term projection, of the re-invigoration of the port infrastructure in the Gulf of Urabá.*

*This work aims at providing criteria that allows making correct decisions at early stages of the project, regarding the investment of new resources in future phases. To achieve this objective, guidelines from United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), will be taken as a reference.*

*This academic exercise, will take elements of the pre-investment, investment and operation phases, in order to have an extensive point of view of what will be the execution of the project in its development cycle. This work will be divided into five sections, where the activities that will be developed in each of them, have a common and specific purpose. By examining the results of these activities jointly, the data will be consolidated, and therefore taking an secure investment position.*

**Key words:** *rail system, pre-investment phase, prefeasibility study, Project Finance, Urabá port infrastructure.*

## Contenido

Introducción .....	11
1. Situación en estudio – problema.....	12
1.1. Contexto .....	12
1.2. Antecedentes.....	13
1.3. Justificación .....	17
1.4. Alcance.....	18
2. Objetivos general y específicos del trabajo de grado.....	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos .....	19
3. Marco de referencia conceptual.....	21
3.1. Fases del proyecto .....	21
3.1.1. Fase de preinversión .....	22
3.1.2. Fase de inversión .....	24
3.1.3. Fase de operación.....	25
3.2. Descripción del estudio de prefactibilidad .....	26
3.3. Sistema férreo .....	30
4. Método de solución .....	31
4.1. Enfoque de la investigación: cuantitativo.....	32
4.2. Nivel de profundidad de la investigación .....	33
4.2.1. Alcance exploratorio .....	33
4.2.2. Alcance correlacional.....	34
4.3. Fuentes de información: investigación documental .....	35
4.4. Metodología de la investigación .....	36
5. Justificación del trabajo de grado en términos de la MGP .....	38
6. Estudio de prefactibilidad .....	39
6.1. Actividades relativas a los ingresos.....	39
6.1.1. Estudio del entorno y análisis sectorial.....	39
6.1.2. Estudio de mercado .....	71
6.2. Actividades relativas a la inversión .....	90
6.2.1. Estudio técnico.....	90
6.2.2. Estudio ambiental.....	124

6.2.3. Marco legal .....	152
6.3. Actividades relativas a la utilidad .....	158
6.3.1. Estudio organizacional del proyecto.....	158
6.3.2. Evaluación financiera del proyecto.....	181
6.4. Actividades relativas a los riesgos .....	209
6.4.1. Análisis cualitativo de los riesgos .....	210
6.4.2. Análisis cuantitativo de los riesgos.....	216
7. Conclusiones.....	223
Anexos .....	240

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Ciclo de un proyecto de inversión .....	22
Ilustración 2 Estructura de desglose: objetivos .....	27
Ilustración 3 Distribución de la población en el Urabá por edades .....	41
Ilustración 4 Producto interno bruto (PIB) por ramas de actividad económica .....	44
Ilustración 5 Cuencas principales y ríos de Colombia .....	49
Ilustración 6 Carga del sistema férreo en Colombia .....	53
Ilustración 7 Transporte de pasajeros en Colombia en 2016 .....	55
Ilustración 8 Transporte de carga en Colombia en 2013 .....	56
Ilustración 9 Participación del PIB transporte aéreo en PIB nacional .....	57
Ilustración 10 Balance de inversiones en infraestructura .....	63
Ilustración 11 Simulación de redes ferroviarias .....	64
Ilustración 12 Localización de vías 4G en Antioquia .....	66
Ilustración 13 Localización de Mar 1 .....	67
Ilustración 15 Localización de Mar 2 .....	68
Ilustración 14 Caracterización de MAR 1 .....	68
Ilustración 16 Caracterización de Mar 2 .....	69
Ilustración 17 Localización Transversal de las Américas en el Urabá antioqueño .....	70
Ilustración 18 Exportaciones, según departamento de origen en el primer semestre del año .....	75
Ilustración 19 Localización de futuros puertos en el golfo de Urabá .....	77
Ilustración 20 Distancias entre los centros de producción de Colombia y los principales puertos .....	78
Ilustración 21 Proyección del número de toneladas movilizadas por tipo de carga .....	86
Ilustración 22 Mercado potencial del sistema férreo .....	87
Ilustración 23 Ancho de trocha .....	93
Ilustración 24 Sección transversal típica de la vía férrea .....	100
Ilustración 25 Locomotora diésel eléctrica de General Electric .....	119
Ilustración 26 Vagón plataforma .....	121
Ilustración 27 Vagón cubierto .....	122
Ilustración 28 Vagones de tolva granelera .....	122
Ilustración 29 Vagón autorack .....	123
Ilustración 30 Trazado de la línea férrea .....	131
Ilustración 31 Estructura de un Project Finance .....	165
Ilustración 32 Modalidades de contratos .....	166
Ilustración 33 Organigrama del SPV .....	170
Ilustración 34 Cantidad de trenes en los períodos 1 a 4 .....	186
Ilustración 35 Cantidad trenes en los períodos 5 a 20 .....	186
Ilustración 36 Simulación de crédito comercial .....	192
Ilustración 37 Calculo del coeficiente de variación (CV) .....	196
Ilustración 38 VPN .....	201
Ilustración 39 VPN-Probabilidad de pérdida y ganancia .....	202



Ilustración 40. Probabilidades de ganar más de 2, 4, 6 u 8 billones.....	203
Ilustración 41 TIRM .....	204
Ilustración 42 WACC versus TIRM.....	205
Ilustración 43 RBC .....	206
Ilustración 44 Probabilidades de que $RBC < 1$ y $RBC > 1$ .....	207
Ilustración 45 PRI .....	208
Ilustración 46 Total de eventos en el año 0 .....	220
Ilustración 47 Total de eventos en el proyecto .....	221
Ilustración 48 Análisis de eventos en el proyecto .....	221
Ilustración 49 VPN de los riesgos.....	222

#### Lista de tablas

Tabla 1 Operación anual de Puerto Pisisí .....	79
Tabla 2 Capacidad de servicio de buques en Puerto Pisisí .....	79
Tabla 3 Carga nacional por modo de transporte.....	83
Tabla 4 Movimiento de pasajeros por modo de transporte .....	84
Tabla 5 Número de unidades de transporte por modos .....	84
Tabla 6 Estimación del número de habitantes de Urabá en 2020 .....	85
Tabla 7 Costos de transporte del modo carretero .....	88
Tabla 8 Ponderación de costos de transporte carretero.....	89
Tabla 9 Diseño de la superestructura de vía de líneas de viajeros en función de la velocidad y la carga sufrida .....	96
Tabla 10 Unidad de medida y monedas .....	103
Tabla 11 Capítulos constructivos de la vía férrea .....	103
Tabla 12 Ponderación de los capítulos constructivos de la vía férrea .....	104
Tabla 13 Iniciativas privadas de nuevas líneas férreas .....	105
Tabla 14 Indicador de costo por kilómetro construido.....	107
Tabla 15 Costo por kilómetro recorrido .....	109
Tabla 16 Costo por 759 km .....	109
Tabla 17 Límites mínimos de velocidad, para vías nuevas según uso .....	111
Tabla 18 Velocidades comerciales por sistema férreo .....	112
Tabla 19 Datos referentes para diseños .....	113
Tabla 20 Costo de operación .....	115
Tabla 21. Costo ponderado promedio .....	116
Tabla 22. Marco de referencia legal ambiental .....	125
Tabla 23. Generalidades ambientales .....	133
Tabla 24. Metodología para el estudio del impacto ambiental de CONESA .....	139
Tabla 25. Identificación y evaluación de posibles impactos ambientales .....	140
Tabla 26. Impactos socioeconómicos y culturales.....	142
Tabla 27 Medidas de prevención.....	143
Tabla 28 Medidas de mitigación .....	145
Tabla 29 Medidas de corrección.....	146

Tabla 30 Medidas de compensación .....	146
Tabla 31. Análisis de costos ambientales .....	147
Tabla 32. Requisitos legales .....	153
Tabla 33. Normatividad legal.....	156
Tabla 34 Normativa de las APP.....	160
Tabla 35 Comparativo de la normativa sobre las APP .....	162
Tabla 36. Definición de cargos en el proyecto ferroviario.....	171
Tabla 37. Métodos y procedimientos .....	176
Tabla 38 Tipos, costos y cantidades de vehículos .....	198
Tabla 39 Inversión en vehículos .....	199
Tabla 40 Estadísticos del VPN.....	201
Tabla 41 Estadísticos de la TIRM.....	205
Tabla 42 Estadísticos de la RBC .....	207
Tabla 43 Estadísticos del PRI .....	209
Tabla 44 Análisis del PRI .....	209
Tabla 45 Identificación de los riesgos.....	211
Tabla 46 Impactos de los riesgos .....	213
Tabla 47 Matriz de riesgos.....	216
Tabla 48 Matriz de probabilidades .....	217
Tabla 49 Matriz de frecuencias .....	217
Tabla 50 Matriz de severidad .....	218
Tabla 51 Matriz de impacto probable multidireccional .....	219
Tabla 52 Análisis de eventos en el año 0.....	220
Tabla 53 Indicador.....	222

## **Introducción**

Gracias a que Colombia cuenta con una ubicación estratégica para el comercio, se evidencian grandes oportunidades para el crecimiento económico del país; de esta manera, este trabajo propone una opción para materializar esas oportunidades a través de la elaboración de un estudio de prefactibilidad para el desarrollo de un sistema férreo entre Medellín y el Urabá antioqueño. El estudio tuvo como foco la subregión mencionada puesto que es una de las zonas más atractivas para el desarrollo de proyectos de infraestructura, que impactan en forma significativa el desarrollo económico de Colombia y de la región. Al tener en cuenta lo anterior, es necesario tener presente los proyectos planeados en el corto y el mediano plazo relativos a terminales portuarias en el golfo de Urabá, potencializados por su excelente ubicación y facilidad de comunicación con otros países por medio de la comercialización de mercancías, lo que traerá un alto grado de ingresos económicos y desarrollo social a toda la región; en este caso se evidencia la necesidad de un mejoramiento en la forma del transporte actual desde el centro del país hasta Urabá en las diferentes modalidades de transporte de carga y de pasajeros.

## **1. Situación en estudio – problema**

### **1.1. Contexto**

La región del Urabá antioqueño es una de las más extensas del departamento de Antioquia, con una extensión de 11.664 km<sup>2</sup> y una población de alrededor 508.802 habitantes. Vale la pena resaltar que es la cuarta subregión de Antioquia con la mayor tasa de población concentrada en el área urbana, en la que se tiene mayor concentración en los municipios de Apartadó y Chigorodó. La calidad de vida es un elemento importante a la hora de describir el contexto social de la región; según el Anuario Estadístico de Antioquia (Gobernación de Antioquia, 2014), se resalta una problemática evidenciada en el Urabá, en la que se midió el índice de las necesidades básicas insatisfechas y los municipios de Murindó y San Pedro de Urabá presentaron un indicador del 97,08 % y el 82,5 %, en su orden, y esta realidad no es muy ajena al resto de municipios de la región. Lo anterior demuestra la necesidad de implementar políticas públicas y privadas que mejoren las condiciones de vida de los habitantes de la zona y cubrir de alguna manera las necesidades básicas de las personas. Una de las principales causas de las condiciones de vida de los habitantes de la zona es la violencia; esta situación ha afectado en forma considerable a esta población en los últimos 50 años. La violencia se genera por la lucha de poderes entre bandos al margen de la ley, que pretenden controlar las rutas para el tráfico de drogas, armas y mercancía de contrabando. Ante tal situación las diferentes instituciones del Estado tienen como desafío recuperar la legalidad, consolidar la seguridad y brindar las condiciones propias para la construcción de un territorio en paz.

El turismo en la subregión del Urabá juega un papel fundamental en el aspecto económico y cultural de la zona, puesto que existen entidades como la Corporación turística Urabá Darién Caribe, que promueven el desarrollo de la cadena productiva turística. Esta área cuenta con atractivos turísticos como playas, ciénagas, volcanes

de lodo y resguardos indígenas que promueven actividades de ecoturismo, agroturismo, turismo de aventura, turismo religioso y etnoturismo. Entre las costumbres de la región están, por un lado, el amor al baile, en el que se destacan las danzas indígenas, afrocolombiana y mestizas, y, por el otro lado, el gusto por la gastronomía, en el que la oferta de dicho tipo se arraiga a los productos propios de la región: mariscos, coco, plátano, yuca y pescado, por nombrar algunos.

Para hablar un poco del contexto económico, según cifras Anuario Estadístico de Antioquia (Gobernación de Antioquia, 2014), el Urabá antioqueño es la subregión con mayor extensión de tierra, con un área total de 1.166.400 hectáreas, lo que favorece que su principal actividad económica sea la producción agrícola, en la que se destaca la producción de plátano. Colombia se encuentra entre los principales productores de banano en el mundo y en esta zona crece el 70 % de dicha fruta del país. El año pasado fueron 26 millones de cajas, que generaron 137,6 millones de dólares, 17 mil empleos directos y 51 mil indirectos, según datos de la Unión de Bananeros de Colombia (C. I. UNIBAN, 2017). Al mercado internacional también se exportaron 2,6 millones de cajas de plátano, por 17,7 millones de dólares. Cabe resaltar, entonces, el gran potencial que tiene la zona, de modo que la construcción de nuevos puertos marítimos permitirá un comercio más eficiente entre Colombia y el resto del mundo.

## **1.2. Antecedentes**

El primer uso práctico de las líneas férreas se remonta al año 1804 en el Reino Unido, donde se dispuso de un alineamiento de rieles en hierro colado, que, junto con una incipiente locomotora de vapor, desarrollada por el inglés Richard Trevithick, sirvió para el transporte de carbón de piedra en las minas de Gales del Sur. Un par de décadas más tarde, a partir de la necesidad que tenía la ciudad de Liverpool de traer materia prima hasta sus fábricas textiles, en 1830 se inauguró una línea férrea que comunicó a esta ciudad con Manchester, lugar en el que se

almacenaba gran cantidad de algodón, necesario para el desarrollo de la industria textil inglesa.

En Colombia, los sistemas férreos empezaron a instaurarse en 1835, fecha en que surgió la primera iniciativa de ley sobre ferrocarriles. Dicho estatuto abarcaría lo que serían las concesiones de una línea férrea en Panamá. La iniciativa tuvo como desenlace que en 1855 se diera la culminación de la construcción de la primera vía férrea del país. Fueron 80 km los ejecutados por la compañía neoyorkina Panamá Railroad Co., que unieron a Panamá con Colón. En 1869 se dio una alianza entre ingleses y alemanes que conformó Hoenisberg Wessels & Co., sociedad que en 1871 terminó la construcción de la segunda vía ferroviaria en Colombia, de 27 km, llamada Ferrocarril de Bolívar, que comunicó a Barranquilla con Puerto Colombia en dos tramos, con Puerto Salgar como conexión entre ambos destinos.

La llegada del ferrocarril a Antioquia ocurrió en 1874 cuando el ingeniero civil cubano Francisco Javier Cisneros contrató con el departamento, en aquel entonces llamado Estado Soberano de Antioquia, la construcción de un sistema férreo de 193 km, que recibió el nombre de Ferrocarril de Antioquia, entre Puerto Berrío y Medellín. La contratación del Ferrocarril de Antioquia se dio mediante una asociación público-privada (APP), lo que quiere decir que se llegó a un acuerdo entre el sector público y el privado en el que la responsabilidad del Estado de hacer inversión en el desarrollo de la infraestructura pública se le transfiere a la empresa privada, a la vez que se le otorga, a modo de contraprestación, el derecho de explotar y sacar provecho de las ganancias, fruto de la operación del proyecto. Según las características del contrato mencionadas por Latorre (1924), la asociación público-privada entre el Estado y la empresa Ferrocarril de Antioquia se hizo según la modalidad BOT (por las iniciales de la expresión en inglés *build-operate-transfer*), en la que se acordó que la compañía ejecutora del proyecto,

pertenciente al sector privado, debía construir el sistema férreo, hacerle mantenimiento, operarlo durante 50 años, tiempo que se consideró pertinente para que la empresa privada recuperara el capital invertido en el proyecto y, con posterioridad, transferirlo al Estado.

El ferrocarril se construyó por etapas, lo que permitió la operación del sistema en forma parcial a medida que las mismas iban culminando. La finalización del ferrocarril se dio en el año 1929, cuando los dos frentes de la construcción de la línea se encontraron en el túnel de La Quiebra. En 1958, el Ferrocarril de Antioquia pasó a ser patrimonio de la Nación. Esta obra fue motivo de orgullo para el país y sobre todo para los antioqueños, puesto que la inversión de esfuerzos que se tenían que hacer para poder materializar un proyecto de esta magnitud era colosal.

El escaso desarrollo tecnológico unido a la difícil y escarpada geografía colombiana caracterizada por altas cordilleras, valles profundos, selvas tropicales, climas malsanos y ríos de curso largo y cambiante, dificultaron a los ingenieros nacionales y extranjeros el trazado y construcción de líneas, de modo que los cortes en las montañas, el tendido de vía en altas pendientes, los radios estrechos de curvatura y el transporte del material rodante y fijo exigieron esfuerzos titánicos (Mejía Sanabria, 1998).

El proyecto fue promovido por la necesidad que tenía Antioquia de comunicarse con el resto del país y poder salir del encierro con el que las condiciones topográficas obligaban a vivir a la región. Con la construcción de la línea férrea las montañas ya no serían un obstáculo para que los antioqueños movilizaran el café y el oro hacia otras regiones. A pesar de que el Ferrocarril de Antioquia impulsó el desarrollo económico, industrial y social del departamento, el tren empezó a sufrir un proceso de decadencia, que finalizó en la clausura de la compañía en el año 1961. El deterioro del sistema no se dio por una única razón, sino por la conjunción de

diferentes situaciones que se alinearon para entorpecer la inercia que llevaba el proyecto a lo largo de su vida.

Colombia se encontró debilitada, desde el punto de vista económico, tras haber estado expuesta a problemáticas tales como crisis sociales, que ocasionaron incendios en muchos trenes y estaciones del sistema férreo y que tuvieron como desenlace el cierre de las operaciones durante tres años o guerras políticas, como la Guerra de los Mil Días; además, el intento que hizo la nación de invertir en la repotencialización del Ferrocarril de Antioquia, después de que en 1922 el país recibiera una indemnización por la independencia de Panamá, no fue suficiente para que se recuperara. A esta situación se le sumó una amenaza que años más tarde se magnificó por directrices gubernamentales. La problemática en cuestión, de cara a la supervivencia del tren, fue la construcción de una red de carreteras que inició a tejerse dada la necesidad que tenían los agricultores y los mineros de llevar su mercancía hasta las estaciones del ferrocarril. La amenaza creció, en los años treinta, cuando los dirigentes del país decidieron dejar de apalancar líneas férreas y, por el contrario, invertir en vías terrestres. Desde ese momento el Ferrocarril de Antioquia tuvo los días contados.

El siglo XIX fue el epicentro del desarrollo férreo en Colombia porque fue en esta época cuando se dio inicio a la ejecución de la mayoría de las iniciativas férreas, que culminarían entre finales de dicho siglo y principios del XX. Según un informe del sistema férreo nacional de la Cámara Colombiana de la Infraestructura (2016), la red férrea se expandió con rapidez a finales del siglo XIX, al pasar de tener 236 km construidos en 1885 a 875 en 1910 y a 2.700 en 1930. Para tales años se tenían en operación líneas como la del Ferrocarril del Pacífico, el de Girardot, el de Puerto Wilches, el de La Sabana y el de Cartagena, por nombrar algunas. Este impulso



tejió una red de comunicación a lo largo y ancho del territorio colombiano que demarcó la tendencia de la infraestructura del transporte en la época.

En 1961 fue posible integrar las líneas que habían sido construidas en el último siglo, uniendo entre sí las principales ciudades con los puertos de Santa Marta y Buenaventura. En ese mismo año, la red férrea del país alcanza su máxima longitud que fue estimada en 3431 km (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2016).

### **1.3. Justificación**

A lo largo de la historia colombiana, la dinámica del transporte de carga y de pasajeros en el país se ha visto limitada debido a la geografía con que cuenta el departamento de Antioquia, puesto que este territorio está conformado, en su gran parte, por montañas y riscos que dificultan el desarrollo de los diferentes modos de transporte. Dadas las condiciones topográficas y los antecedentes mencionados en la sección anterior, la infraestructura para el transporte de carga y de pasajeros de Colombia está orientada hacia las vías terrestres, porque la diversificación de los sistemas de transporte es muy pobre y deja de lado otras opciones, como el fluvial y el férreo. En esta situación se ve una oportunidad para ayudar a incrementar la competitividad de la industria nacional y contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos. Dicha oportunidad se sustenta en la formulación de proyectos orientados hacia la exploración de diferentes sistemas de transporte de carga y de pasajeros, con énfasis en iniciativas para el desarrollo de las vías férreas.

Colombia cuenta con puntos estratégicos para la comercialización de productos con el resto del mundo por vía marítima; en forma específica, sobre el litoral Pacífico se encuentra el puerto de Buenaventura y en la costa del Atlántico los de Cartagena, Barranquilla y Santa Marta. Debido a la infraestructura actual disponible en

Colombia para el transporte de carga, el desplazamiento de la mercancía entre el centro del país y los puertos es ineficiente desde los puntos de vista económico, logístico y ambiental, lo que evidencia la necesidad de optimizar los sistemas de transporte de carga y pasajeros para aprovechar de la mejor manera los recursos disponibles.

A la problemática descrita se le deben adicionar los proyectos de expansión de infraestructura portuaria que están emergiendo en la zona del Urabá antioqueño, con lo que se logrará un aumento en la demanda del servicio de transporte de carga desde y hacia el centro del país y, dadas las condiciones actuales de infraestructura, esta necesidad no se va a poder satisfacer de modo adecuado, porque se dejará de atender un segmento de la demanda del servicio.

Mesquita Moreira Volpe y Blyde (2010) en su informe sobre integración y comercio afirman que el costo promedio para transportar un contenedor desde la capital del país hasta los puertos es de 2.400 dólares y se estima que este monto, si se utilizasen los sistemas férreos, se podría reducir a una tercera o cuarta parte, con lo que se lograría una reducción considerable en los costos de transporte de empresas exportadoras, que pueden ver como opción una nueva forma de transporte a un menor costo.

#### **1.4. Alcance**

El alcance de este trabajo está enmarcado por los lineamientos del estudio de previabilidad propuesto por la ONUDI (Behrenes y Hawranek, 1994), en el que se plantea una estructura, capaz de tomar elementos de diferentes áreas del conocimiento para lograr la materialización de la idea de proyecto. La información recolectada en esta estructura brindó los puntos de partida para ejecutar de manera satisfactoria las actividades que se desarrollaron en todas fases del proyecto de

inversión (Ver sección 3.1). Este ejercicio de investigación hace parte de la fase de preinversión, lo que quiere decir que la profundidad de las actividades que en ella se desarrollan estuvo limitada en cuanto al grado de inversión de tiempo y costo que se hizo con respecto a otras actividades que se realizaron en otras fases del proyecto. Sin embargo, esto no quiere decir que la importancia de este estudio sea menor a otras etapas del proyecto; por el contrario, el estudio genera los criterios que hacen posible tomar una decisión con respecto a la continuidad del proyecto en sus demás etapas.

## **2. Objetivos general y específicos del trabajo de grado**

### **2.1. Objetivo general**

Elaborar un estudio de prefactibilidad para el desarrollo de un sistema férreo entre Medellín y el Urabá antioqueño de acuerdo con los parámetros de la metodología de la ONUDI, con el fin de evaluar la continuidad hacia la fase de inversión del proyecto.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Identificar la demanda del servicio de transporte de carga y pasajeros entre Medellín y el golfo de Urabá a través de un estudio de mercado que permita estimar los ingresos de la operación del sistema férreo.
- Establecer los requerimientos generales para la construcción de un sistema férreo en el noroccidente antioqueño, por medio de una evaluación técnica, ambiental y legal, con el fin de estimar la inversión necesaria para ejecutar el proyecto.

- Integrar los datos obtenidos en diferentes etapas del estudio de prefactibilidad a través de una evaluación financiera, para calcular los retornos de los interesados.
- Evaluar situaciones de riesgo identificadas en los diferentes estudios mediante análisis de sensibilidad, para determinar el impacto de las mismas en el desarrollo del proyecto.
- Calificar las variables extraídas de los diferentes estudios con base en criterios de aceptación definidos, con el fin de evaluar los resultados obtenidos.

### **3. Marco de referencia conceptual**

Para que el lector tenga claridad del objetivo de este trabajo, es fundamental darle un contexto de las temáticas que están relacionadas con los conceptos propios de la investigación, para que el mismo pueda observar todo el panorama y, más tarde, se le pueda dirigir a las áreas de conocimiento específicas del objeto de investigación y profundizar en ellas de manera coherente con el alcance del estudio.

#### **3.1. Fases del proyecto**

Un proyecto de inversión está caracterizado por que a lo largo de su desarrollo se evidencia una segmentación entre las actividades que se ejecutan dentro de él. Estas actividades se agrupan de acuerdo con el alcance y el objetivo que tengan. La agrupación de tareas recibe el nombre de etapas.

Las etapas no son un conjunto de actividades que se ejecutan de manera arbitraria a lo largo de la vida del proyecto; por el contrario, existe una forma sistemática para que se realicen. Las etapas del desarrollo de la línea férrea que se propone en este estudio no son independientes, es decir, existe una relación de dependencia entre ellas, que condiciona los inicios y los finales entre etapas; en otras palabras, la iniciación de algún grupo de actividades depende de la finalización de otro grupo.

En el ciclo de vida del proyecto es importante hacer una clasificación de las distintas etapas, que se hizo de acuerdo con los criterios propuestos por la ONUDI, por primera vez en el año 1978 y publicados en 1994 por Werner Behrens y Peter M. Hawranek, miembros de la organización en aquel entonces. Según los autores, el desarrollo de un proyecto de inversión desde la etapa de la idea inicial hasta que la línea férrea entra en funcionamiento se puede representar de manera gráfica en forma de un ciclo que consta de tres fases distintas: preinversión, inversión y operación. Cada una de ellas fases se divide en etapas, alguna de las cuales constituyen importantes actividades de consultoría, ingeniería, e industriales. En la

Ilustración 1 se muestran la relación y la jerarquía entre las etapas y las fases de un proyecto de inversión.

El campo de acción de este ejercicio investigativo se encuentra ubicado dentro de la fase de preinversión y, para ser más específicos, se hizo énfasis en la etapa de prefactibilidad, que se describe a continuación, junto con las dos restantes.

Ilustración 1 Ciclo de un proyecto de inversión



Fuente: Behrens y Hawranek (1994, p.10)

### 3.1.1. Fase de preinversión

La fase de preinversión es la que agrupa, en el ciclo de vida del proyecto, todas las etapas que dan los fundamentos necesarios para tomar una decisión de dar continuidad o no a fases siguientes, que involucren grandes esfuerzos de inversión de recursos. El sentido de esta fase es administrar los recursos de manera estratégica para que se mitigue el impacto de los riesgos asociados con la materialización de la idea inicial.

En la fase de preinversión se encuentran etapas como el estudio de oportunidades, que no es más que la consolidación, el análisis y la evaluación de todas las oportunidades de inversión con respecto a una situación o problemática, como, por ejemplo, una necesidad específica o una situación problemática. En esta etapa se evalúan características de la región como la ubicación geográfica, su cultura y su población, del sector industrial y de los recursos de tipo natural, industrial y humano. El estudio de oportunidades es fundamental para plantear posibles alternativas para desarrollar el proyecto, con el fin de crear mayores posibilidades de terminarlo con éxito.

Otra de las etapas importantes en la fase de preinversión son los estudios de apoyo, que son un paso antecesor de la etapa de prefactibilidad, lo que significa que la evaluación de los estudios de apoyo son un insumo necesario para poder iniciar los de prefactibilidad. La etapa de estudios de apoyo contiene los estudios específicos que se hacen con profundidad media con respecto a algún tema o característica singular y que se relacionan en forma directa con el campo en el que se desenvuelve el proyecto de inversión. Dichos estudios pueden ser ensayos de laboratorio, estudios de caracterización de materias primas, estudios de cadenas logísticas o estudios de tecnologías específicas, por nombrar algunos.

El estudio de prefactibilidad es otra de las etapas del repertorio de etapas de preinversión. Las actividades que en esta parte se efectúan son el foco de atención de este ejercicio de investigación; por tal motivo, el estudio de prefactibilidad se describe de manera más profunda en otra de las secciones del trabajo.

La etapa posterior al estudio de prefactibilidad es el de factibilidad o viabilidad. El resultado de efectuar esta etapa es la recopilación y el análisis de todos los datos que ayudan a adoptar una posición de inversión. La estructura de esta etapa es muy similar a la de los estudios de prefactibilidad y la diferencia radica en la profundidad y el nivel de las fuentes de información; para decirlo de otra manera, el grado de

inversión de esfuerzos es mucho mayor al de la etapa anterior. Según Behrens y Hawranek (1994), los requisitos previos de órdenes comercial, técnico, financiero, económico y ambiental para un proyecto de inversión deberían definirse y examinarse con ojo crítico sobre la base de las demás soluciones posibles que ya se hayan examinado en el estudio de prefactibilidad.

### **3.1.2. Fase de inversión**

Después de haber terminado la fase de preinversión y antes de empezar la de inversión es fundamentalmente importante para el proyecto tener definido el modelo de negocio del proyecto, que en esencia es la estructura de los interesados del proyecto, la relación entre ellos y la función que van a desempeñar. Entre los principales interesados están las entidades promotoras del proyecto, los inversionistas, las instituciones de financiación, el Gobierno, los proveedores, la empresa constructora, la entidad encargada de la operación, los consultores externos, la comunidad y los clientes, entre otros.

Una vez se tenga definida la estructura de los interesados debe existir una identidad, que podría denominarse empresa proyecto, que canalice la participación de ellos y que coordine todas las actividades de la fase de inversión, en la que dicha entidad empieza a dirigir todas las tareas que demandan recursos, por ejemplo, de tipo económico, humano y de tiempo, que, en la fase anterior no habían tenido un grado de inversión de esfuerzo tan alto. Según Behrens y Hawranek (1994), la fase de inversión podría dividirse en las siguientes etapas:

- Creación de la base jurídica, financiera y orgánica para ejecutar el proyecto.
- Adquisición y transferencia de tecnología, comprendida la ingeniería básica.



- Diseño de la ingeniería de detalle y contratación, incluidas la licitación, la evaluación de oferta y las negociaciones.
- Adquisición de terrenos, obras de construcción e instalación.
- Comercialización previa a la producción, comprendida la obtención de suministros y el establecimiento de la administración de la empresa.
- Contratación y capacitación del personal.
- Puesta en marcha e iniciación de las operaciones de la planta (en este caso, línea férrea).

### **3.1.3. Fase de operación**

Para iniciar la fase de operación de manera acertada es necesario que la etapa de puesta en marcha e iniciación de las operaciones de la planta se desarrolle de manera rigurosa puesto que, a corto plazo, la falta de experiencia del personal operativo podría causar contratiempos, por lo que debe minimizar el impacto causado por los imprevistos. Según el Ministerio de Transporte (2013), los posibles problemas que podrían presentarse en etapas tempranas de la fase de operación estarían relacionados con la carencia de conocimiento de la aplicación de técnicas de producción (en este caso, préstamo del servicio en forma eficiente), del funcionamiento de los equipos o la insuficiente productividad de la mano de obra por la falta de personal administrativo o de técnicos u operarios calificados.

El éxito de la fase de operación está relacionado en forma directa con los esfuerzos realizados en las etapas previas; de esta manera, si en el largo plazo se quiere mitigar en alguna proporción la posibilidad de ocurrencia de situaciones que impacten en sentido negativo el desarrollo esperado del proyecto, es necesario que en etapas previas a la operación se diseñe una estrategia integral, tanto para las etapas finales de la fase de inversión como para la de operación, que oriente las actividades para que todas vayan en función de un mismo objetivo. En la última fase se van a ver los resultados obtenidos, que por último se compararán con los

resultados esperados desde el momento en el que el proyecto surgió como una idea. En la fase de inversión se estarán evaluando de manera permanente las estrategias que se haya decidido adoptar en relación con los costos de operación, mantenimiento, comercialización e ingresos por el servicio ofrecido.

### **3.2. Descripción del estudio de prefactibilidad**

Dado que la mira central de este trabajo estuvo puesta en el estudio de prefactibilidad, se hace imperativo abordar los aspectos más relevantes de los ámbitos económico, ambiental, político, geográfico, cultural e industrial, con el fin de contar con información suficiente para poder caracterizar y modelar, de alguna manera, las variables que componen el proyecto de inversión. Dicho lo anterior, es necesario abordar el ejercicio de investigación al tomar en consideración los lineamientos propuestos por Behrens y Hawranek (1994), cuyo texto sirvió como línea base para la estructuración de la metodología de investigación.

Este trabajo propone la estructuración de un esquema mediante la agrupación de las diferentes actividades propuestas en el anexo III (Esbozo de un estudio de previabilidad), propuesto por la obra citada. Esta agrupación de actividades se mediante su clasificación según fuese la finalidad de la actividad; en la ilustración 2 se muestran agrupadas las actividades que tienen como fin estimar los posibles ingresos producto de la operación del sistema férreo. También se agruparon las actividades que determinaron los costos del proyecto. Existe otra categoría que agrupó las actividades que tienen como premisa calcular los márgenes de utilidad para los diferentes interesados del proyecto. Por otro lado, se consolidaron las actividades relativas a la gestión del riego; la incertidumbre en esta etapa del proyecto fue muy alta y, por lo tanto, se consideró pertinente llevar a cabo este grado de inversión de esfuerzo para caracterizar las diferentes variables con alto grado de incertidumbre. Por último, pero no menos importante, están las actividades que

pretenden integrar y evaluar la información suministrada de los diferentes estudios en etapas anteriores, con el fin de generar criterios para la toma de decisiones. Cada una de las ramas principales de la estructura representa las actividades propuestas para cumplir los objetivos específicos del trabajo de investigación.

Ilustración 2 Estructura de desglose: objetivos



Fuente: elaboración propia con base en Behrens y Hawranek (1994)

Se entiende por estudio de prefactibilidad el análisis técnico-económico de las diferentes soluciones que se podrían tener para el problema o la necesidad evidenciada con el fin de reducir en forma significativa la incertidumbre a través de estudios de mercado, de impactos ambientales, técnico y legal, cuyo principal objetivo es determinar si el proyecto justifica un análisis más detallado por medio de un estudio de viabilidad, así como también establecer si el proyecto es suficientemente atractivo para una empresa o para un grupo inversionista.

Una de las actividades principales relativas para determinar los ingresos a través de la demanda del servicio que se ofrecerá se encuentra el estudio de mercado. Esta actividad es de suma importancia puesto que determinará la segmentación del

mercado por medio de diferencias geográficas, de personalidades en las comunidades y demográficas de los lugares por los que pasará la línea férrea. Este estudio permitirá identificar las futuras tendencias del mercado con el fin de estar preparados para los cambios que allí se evidencien, por medio de la formulación de propuestas que ayuden a mejorar el modelo de negocio, que estará expuesto a los cambios de oferta y demanda. El objetivo del estudio de mercado es tener una visión clara de las características y los impactos sobre los usuarios y clientes para cubrir las necesidades que se tienen o que se tendrán con el fin de facilitar el transporte de pasajeros y mercancía desde el Urabá hasta Medellín y viceversa.

Una actividad relativa a la estimación de costos es el estudio técnico de la necesidad, que consiste en llevar a cabo una valoración económica de todas las variables técnicas que influyen en el desarrollo de una línea férrea con el fin de hacer posible con ello obtener una idea aproximada de los recursos necesarios para la ejecución del proyecto. En particular, los objetivos de este estudio técnico para la prefactibilidad de desarrollar una línea férrea entre el Urabá antioqueño y Medellín son los siguientes:

- Tamaño y capacidad del proyecto con la proyección que se tiene en el Urabá, con la construcción y la ampliación de terminales portuarias en el golfo de Urabá; se analizó la demanda que tales iniciativas requerirían al sistema de transporte de la zona, tanto de pasajeros como de mercancía.
- Presupuesto de inversión, que se refiere a la estimación de los costos de inversión en los que se incurrirá en gastos asociados con recursos naturales, humanos, materias primas y tecnología.

Para este caso de investigación, el estudio ambiental es un componente que tiene mucha incidencia en el estudio de prefactibilidad. Al ser un proyecto de gran extensión, en el sentido de la longitud total, porque alrededor de 330 km de vía férrea estarán atravesando diferentes zonas y municipios de Antioquia, y la caracterización de los componentes de suelo, agua, flora y fauna, socioeconómico

y del medio ambiente es de carácter esencial a la hora de hacer cualquier tipo de análisis de impacto ambiental. En esta caracterización es importante abarcar estudios de localización geográfica, que permitirán describir la topografía de la zona, los asentamientos urbanos y los accidentes geográficos, entre otras características que se enunciarán más adelante. Este estudio arrojó la información suficiente que permitió evidenciar las necesidades del uso de los recursos naturales y el aprovechamiento de los mismos. Con posterioridad se debió formular un plan de manejo ambiental (PMA), determinado de acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación de impacto ambiental. El PMA ayudará a mitigar o prevenir los principales hallazgos causados por la construcción de la vía férrea y también debe especificar objetivos e indicadores que permitan hacer seguimiento y control de la gestión, con el fin de tomar las medidas pertinentes, si es el caso.

En la fase de preinversión, de manera específica en la etapa de prefactibilidad, es pertinente realizar un análisis o estudio legal puesto que un proyecto que sea altamente rentable podría no ejecutarse debido a alguna norma legal. Para este estudio es de gran importancia consultar con minuciosidad la legislación colombiana que rige las líneas férreas, con el fin de tener una visión clara a la hora de la formulación del proyecto. Realizar esta actividad en etapas tempranas del proyecto implica grandes ahorros en tiempo y costo en fases posteriores del mismo.

En el estudio organizacional del proyecto se dio cuenta de la guía para la estructuración de la empresa de la manera que mejor le convenga desde el punto de vista jurídico y la definición de las prácticas de operación como, por ejemplo, la creación del organigrama para la operación del sistema férreo. En la evaluación financiera se identifican y se cuantifican los elementos comparativos que sirven de base para determinar diferentes alternativas de financiación que ayuden a la rentabilidad del proyecto.

En el análisis de riesgos que se llevó a cabo en el presente caso de estudio se evaluaron, mediante análisis cualitativos y cuantitativos, los impactos ocasionados por los eventos de riesgo, lo que ofreció información valiosa para la toma de decisiones.

### **3.3. Sistema férreo**

Desde la invención de la rueda ha sido una constante preocupación del hombre la optimización del transporte de carga y pasajeros, con el fin de poder transportar un mayor volumen de carga y con un costo significativamente menor. Para lograr tal fin, el presente trabajo no se centra únicamente en la actividad de construir unos rieles, que unan dos puntos y por los que se vayan a transportar unos vagones; por el contrario, propone una mirada más holística de lo que es una vía férrea, que consiste en concebir al tren como un sistema que integra diferentes variables que establecen sinergias en función de un mismo objetivo. El sistema férreo contempla, de acuerdo con los mismos parámetros, las características del diseño, de la construcción y de la operación. Adoptar este tipo de perspectiva permite un flujo constante en el desarrollo del proyecto a lo largo de todas las etapas y fases, puesto que todas las actividades que van surgiendo a lo largo de la vida del proyecto estarán sincronizadas y apuntarán hacia un mismo objetivo. Cuando se habla de sistema férreo se alude a la integración del trazado de la vía, de los vagones, de las estaciones y de los sistemas complementarios al sistema férreo, como las vías de acceso y la articulación entre diferentes modos de transporte, es decir, la interacción entre barco y tren o entre camión y tren.

Para dar cumplimiento a las características antes mencionadas se tomaron, como estructura de apoyo, los aspectos definidos en el Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013a), con el que se evaluaron aspectos técnicos de diseño, construcción, operación, control y seguridad relativos al sistema férreo. Las especificaciones de diseño son una serie de factores o requisitos que van enfocados

hacia el cumplimiento de las necesidades de uso del sistema, lo que quiere decir que se debe hacer el diseño del sistema pensando en las necesidades propias del transporte de carga y también de las que al respecto tienen las personas.

Las especificaciones de construcción tienen como fin predeterminedar una guía que contenga las pautas mínimas de calidad que deben cumplirse por las empresas contratistas interesadas en la construcción de la infraestructura ferroviaria en lo que compete a los movimientos de tierra, los elementos de drenaje, los propios de la infraestructura férrea y las especificaciones de construcción de los sistemas complementarios.

Luego de la construcción de la línea férrea se deberá considerar una serie de especificaciones de operación y control ferroviario; por nombrar algunas, se hace referencia a las limitaciones de carga, a la velocidad de operación y al personal a cargo de la operación. Si se siguen estos lineamientos, se debe garantizar la seguridad en la operación a través de la formación del personal encargado de dicha actividad, así como también se deben regular las velocidades que podría manejar el tren o vagón, puesto que cada línea de la red férrea nacional debe tener asignada una velocidad mínima y otra máxima de circulación de acuerdo con el tipo de tráfico (pasajeros, mercancías o mixto). También se deben tener en cuenta las recomendaciones que se refieren a la malla de trenes y horarios, la operación en pasos de nivel, en patios y estaciones, los sistemas de detección de trenes, el de enclavamiento, los equipos de seguridad en vía, los sistemas de señalización y los de seguridad y, por último, las recomendaciones del uso del sistema de control y de seguridad.

#### **4. Método de solución**

Para hablar de la metodología de la investigación se parte de que la investigación científica es el

proceso de trabajo de cuestionamiento e indagación sistemática y metódica que, haciendo uso de conocimiento objetivo previo –ordenado en un cuerpo teórico determinado–, tiene como finalidad generar un nuevo conocimiento objetivo que contribuya en el avance de explicación y transformación de alguna parcela de la realidad (Pacheco Espejel y Cruz Estrada, 2010, p. 37).

El proceso inicia por el planteamiento de un problema que justifica la iniciativa de investigación en la que se plantean unos objetivos bien definidos; como paso siguiente se plantea una propuesta de solución que es la que describe la forma en que se piensa alcanzar los objetivos planteados. A continuación, se describen las consideraciones que moldean la investigación y la metodología por utilizar en el ejercicio investigativo.

#### **4.1. Enfoque de la investigación: cuantitativo**

Debido a las diversas formas de pensar y a distintas necesidades o motivaciones, se han creado dos tipos de enfoques investigativos, que abordan los procesos de la investigación y los orientan de tal manera que los resultados obtenidos son adecuados para satisfacer los requerimientos del ejercicio. Como Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2010) lo mencionan, el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no deja eludir pasos. El proceso cualitativo es circular, porque las etapas por realizar interactúan entre sí y no siguen una secuencia rigurosa. De lo anterior se debe tener presente que la interpretación de los datos obtenidos de un proceso de investigación se ajusta de alguna u otra forma a algún tipo enfoque investigativo, ya sea cuantitativo o cualitativo, puesto que el tipo de resultados esperados por el investigador son los que en definitiva ajustan la forma de procesar e interpretar los datos que, al final, se convierten en información.



a presente investigación será abordada desde la perspectiva del enfoque cuantitativo, puesto que los procesos investigativos de la temática por trabajar y los resultados esperados estuvieron de acuerdo con la rigurosidad y la estructura que el enfoque cuantitativo ofrece. Desde el inicio del ejercicio de investigación se tuvieron definidos y delimitados unos planteamientos, lo cual va alineado con las características del enfoque. En la investigación del sistema férreo se plantearon unas hipótesis que se instauraron desde etapas tempranas de la actividad investigativa y que, dada la naturaleza del enfoque, se formularon antes de la recolección y el análisis de los datos. La recolección de los datos de este ejercicio investigativo estuvo enfocada hacia la obtención de elementos medibles, que se analizaron por métodos estadísticos y que más tarde se compararon con parámetros de referencia o con valores esperados por los investigadores.

## **4.2. Nivel de profundidad de la investigación**

Este estudio de prefactibilidad tiene como objetivo determinar las variables predominantes que podrían de alguna manera restringir el desempeño de las etapas del proyecto en las fases de inversión y operación; por tal motivo fue necesario evaluar e integrar diferentes áreas del conocimiento y para ello se desarrollaron y analizaron estudios de ingeniería, industriales, económicos, financieros, legales y ambientales, que abarcaron todo el abanico de aspectos con influencia sobre el comportamiento del proyecto. A continuación se presenta una categorización según el alcance de la investigación según criterios tomados Hernández Sampieri et al. (2010).

### **4.2.1. Alcance exploratorio**

El alcance exploratorio se aplica cuando se tiene como objetivo caracterizar una situación o problema de investigación en relación con un tema poco estudiado o del que se desconocen muchos aspectos. A pesar de que el estudio de prefactibilidad que se llevó a cabo en este trabajo de investigación es un ejercicio que se hace en la mayoría de los pequeños y grandes proyectos, de que el marco metodológico de esta tipología de proyectos se ha utilizado por más de 40 años y de que el conocimiento se ha ido nutriendo a raíz de la ejecución de un sinfín de proyectos, la complejidad de cada proyecto de infraestructura férrea es única, puesto que las condiciones para cada uno de tales megaproyectos son en extremo diferentes. Por nombrar algunas condiciones cambiantes se pueden mencionar que el modelo de negocio de cada proyecto de esta tipología es diferente debido a los cambios relacionados con los interesados. Estos cambios radican en la necesidad específica de cada uno de ellos, de su función en el modelo y de su influencia en las decisiones del proyecto. Otras de las condiciones que tiene gran variación entre proyectos son las políticas, en las que cada gobernante tiene unos intereses particulares que repercuten de manera directa en el proyecto. El cambio constante de las normatividades es otro factor que determina, en gran medida, la estructuración de los proyectos de este tipo. La volatilidad de la parte ambiental, que comprende los aspectos bióticos (microorganismos, plantas y animales), abiótico (suelo, agua y aire) y socioeconómico es un aspecto álgido que determina el éxito o el fracaso de un proyecto. Debido a tantas variaciones es necesario tener estudios preliminares de diferentes áreas del conocimiento que incentiven en forma directa la realización de forma profunda de estudios en las mismas áreas. Por tal razón se podría tener una perspectiva de la investigación con matices de alcance exploratorio.

#### **4.2.2. Alcance correlacional**

“La investigación con alcance correlacional tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular” (Hernández Sampieri et al., 2010, p. 85). El ejercicio

de investigación propuesto tuvo como tarea efectuar diferentes estudios en diversas áreas del conocimiento, en forma preliminar, con el fin de identificar y caracterizar variables que incidan de manera positiva o negativa en las fases de inversión y operación del proyecto. Lo complejo en esta investigación es que las variables por sí mismas no determinan el éxito o fracaso del proyecto; por el contrario, alcanzar los objetivos deseados depende de la consolidación de todas las variables identificadas y caracterizadas, mediante las que se dé una mirada integral de ellas y se analicen las sinergias que ocurren entre las mismas.

#### **4.3. Fuentes de información: investigación documental**

La investigación documental es aquella que utiliza datos de fuentes escritas, electrónicas o audiovisuales como pueden ser libros, revistas, periódicos, videos, audios o internet. Este estudio de prefactibilidad hizo uso de este tipo de fuentes de información. Según la ilustración 2, presentada en la sección 3.2., se recolectaron datos que fueron clasificados según su finalidad y su área del conocimiento. En los estudios que trataron temáticas relacionadas con la demanda del servicio se utilizaron fuentes como bases de datos que brindasen información en relación con estadísticas o investigaciones que se hayan realizado con respecto a los sectores de transporte y construcción en Colombia y en la región y con estudios realizados por empresas del sector privado. También se consultaron informes o reportes de entidades gubernamentales como la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura), de gremios como la Cámara Colombiana de la Infraestructura y CAMACOL y de entidades multilaterales como el BID (Banco Interamericano de Desarrollo). Con respecto al grupo de estudios relacionados con los costos del proyecto, en los de tipo técnico se tomó información de datos históricos de proyectos similares públicos y privados, de bancos de proyectos como el BIRD (Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia), de normas técnicas y de calidad como la NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcciones Sismorresistentes) y las de la ASTM

(American Society for Testing Materials); en los ambientales se tuvieron como referencias guías ambientales para proyectos de infraestructura los lineamientos planteados por las autoridades ambientales de las regiones referentes al proyecto (Corpourabá y Corantioquia) y en los legales se aprovecharon las normatividades del derecho comercial, laboral y tributario para estructurar el proyecto. Para el estudio relacionado con el margen de utilidad se tomaron como referencia modelos financieros, de magnitud similar a la de este proyecto, de la literatura y de casos aplicados en la realidad.

#### **4.4. Metodología de la investigación**

La idea de la realización de este trabajo surgió debido a las necesidades que en la actualidad aparecen alrededor de la dinámica del sector logístico y del transporte en la parte centro-norte de Antioquia. La construcción y la repotencialización de terminales portuarias en el golfo de Urabá, la escasa infraestructura vial y la rehabilitación del importante Ferrocarril de Antioquia generaron la oportunidad para plantear, con buenos fundamentos, la iniciativa de unir de manera eficiente a la costa antioqueña con el centro del departamento.

Para dar dirección al trabajo fue necesario plantear unos objetivos que definiesen qué es lo que se pretende con la investigación, que, al final del ejercicio investigativo, se evaluaron para determinar el cumplimiento del alcance propuesto al inicio de la investigación. Al final del trabajo se tuvo como premisa cumplir cinco objetivos específicos que están estructurados de manera tal que permitieron medir con facilidad los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

El primero de los objetivos específicos reúne todas las actividades que permiten valorar la demanda potencial del servicio ofrecido por el sistema férreo, lo que quiere decir que con facilidad se pueden cuantificar los ingresos de dinero que se podrían obtener por la puesta en marcha de la operación de este nuevo sistema de

transporte. Para cumplir este objetivo se hizo un análisis de la demanda real y proyectada que tiene el sistema terrestre actual de transporte de carga y más tarde se contrastó con la demanda real y proyectada del sistema actual con la inclusión de un sistema férreo paralelo al mismo.

Estimar el valor de la inversión fue la premisa del segundo objetivo específico. En él se pretende reunir todas las especificaciones y restricciones que, de alguna manera, representen costos para el desarrollo del proyecto. Estos costos se consolidaron y se pudo determinar la magnitud de la inversión necesaria para llevar a cabo la iniciativa. Para determinar dichos valores fue necesario tomar como referencia proyectos de infraestructura desarrollados en Colombia y en la región, que se adaptaran a las necesidades del sistema propuesto en el trabajo; asimismo, se debieron seguir los lineamientos ambientales y normativos que están especificados para la gestión de proyectos de infraestructura férrea en el país.

El tercer objetivo tuvo como misión integrar los resultados obtenidos de los primeros dos. En él se hizo un cálculo del margen de utilidad que se distribuyó entre los diferentes interesados. A partir del juicio de expertos, lecciones aprendidas entorno a la gestión de proyectos, revisión de la literatura y resultados de los objetivos anteriores se tuvo, un cuarto objetivo cuya finalidad fue medir la sensibilidad del proyecto frente a los posibles eventos de riesgo que son inherentes a este tipo de actividad. El impacto de los riesgos se midió por medio de la variación de indicadores definidos en el tercer objetivo específico.

El quinto y último objetivo tuvo como fin aprobar o rechazar la información valorada en los anteriores. La aprobación se hizo al tener como referencia criterios o indicadores definidos, que agregaron valor a todos los implicados por la ejecución del proyecto. Se trató de una revisión de forma integral, en la que se tuvieron sobre la misma mesa los diferentes indicadores que permitieron identificar la relación y la

sinergia entre las variables, que fue la forma de evaluar la continuidad del proyecto hacia la siguiente etapa; el estudio de factibilidad.

### **5. Justificación del trabajo de grado en términos de la MGP**

A lo largo de la historia de los proyectos de inversión se han visto éxitos y fracasos de dichas iniciativas. A través de la acumulación de la experiencia, la academia y las empresas han hecho una gestión del conocimiento que ha permitido aumentar la probabilidad de éxito en los proyectos mediante la recopilación y la implementación de lecciones aprendidas a la hora de formular y ejecutar proyectos de inversión. La planeación y la integración son elementos que se destacan de las lecciones aprendidas. Elaborar un estudio de prefactibilidad, en el que se apliquen e integren los conceptos de las diferentes áreas del conocimiento que la Maestría en Gerencia de Proyectos brinda a los estudiantes y profesionales, una herramienta oportuna para planear, en forma integrada, las actividades que se desarrollan en esta tipología de proyectos, para que de esta manera las probabilidades de éxito de los mismos aumentan de modo considerable.

## **6. Estudio de prefactibilidad**

### **6.1. Actividades relativas a los ingresos**

#### **6.1.1. Estudio del entorno y análisis sectorial**

##### **6.1.1.1. Macroentorno**

##### **6.1.1.1.1. Dimensiones del proyecto**

Desde el punto de vista tecnológico, y con el interés de mejorar las condiciones actuales del transporte público en América Latina, se realizó un primer esfuerzo en la construcción de algunos sistemas férreos en las capitales de importantes países, con un objetivo principal en común, que fue contrarrestar los impactos negativos del transporte público tradicional que se venía presentando en la región.

Los primeros sistemas férreos construidos en América Latina fueron realizados por los países que poseían mayor capacidad de llevar a cabo grandes inversiones en pro de mejorar la prestación del servicio público en sus ciudades capitales; Argentina, México, Brasil, Venezuela, Chile y Colombia fueron ejemplo de ello.

En la modalidad de transporte mixto, que, en otras palabras, es el de personas y mercancías de manera conjunta, en el desarrollo de un sistema férreo de acuerdo con esta dimensión se poseen ventajas en un sinnúmero de aspectos como lo son el ahorro energético, la seguridad, la rentabilidad y el respeto con el medio ambiente. Dicho lo anterior, los desarrollos tecnológicos que se prevén deberán tener en cuenta incluir dentro de la formulación de proyectos de esta tipología la adecuación de las infraestructuras a las necesidades de transporte multimodal y así equilibrar la distribución de pasajeros y mercancías en un mismo sistema de transporte.

La dimensión económica está enfocada hacia la construcción de un sistema férreo entre Necoclí y Medellín que permitirá evidenciar cambios disruptivos en el

desarrollo económico del departamento, puesto que permitirá la comunicación más fluida y directa con el comercio internacional, con el propósito de convertir a la región andina en un territorio altamente competitivo, que cuente con un sistema de transporte multimodal, que ofrezca diferentes alternativas para las necesidades en materia de transporte. De modo adicional a lo mencionado, la construcción de un sistema férreo moderno y eficiente eleva el nivel de competitividad del país y la región, como consecuencia de que fortalece el acceso y el tránsito oportuno de mercancías a través del desarrollo de nuevos puertos en el Urabá antioqueño, como los que se construirán en Turbo y Necoclí. De esta manera se tendrá una dinámica en la cadena logística, que ofrecerá un servicio de transporte eficiente, con bajos niveles de contaminación y que provee un ambiente más tranquilo y seguro para la población de la región del Urabá antioqueño. Así pues, esta propuesta incrementará niveles de sostenibilidad, lo que le permite al Gobierno mayores ingresos económicos y una integración del territorio nacional con sus principales aliados comerciales justificados en la exportación y la importación de mercancías.

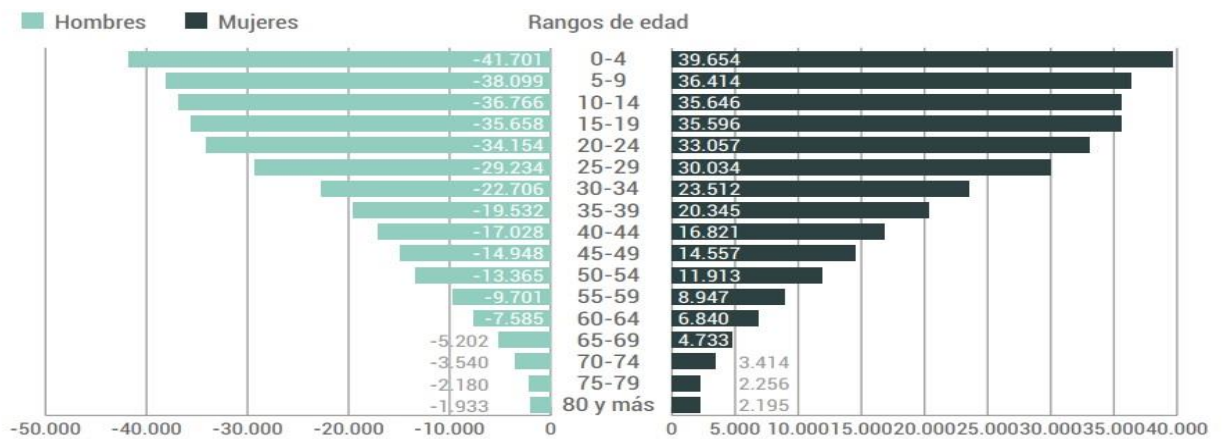
En los sentidos demográfico y social, la región del Urabá antioqueño, gracias a su ubicación estratégica en el territorio de América Latina, brinda una facilidad de acceso a los mercados externos, a lo que se suma que los habitantes de la región del Urabá son el 10% de la población antioqueña, dado que es la región que en la actualidad tiene la mayor tasa de crecimiento del departamento y para el año 2020 se proyecta que su población sea de cerca de 750 mil habitantes.

Con base en lo antes dicho, se evidencia que el crecimiento poblacional que traerá consigo la región del Urabá es un aspecto importante para tener en cuenta por los líderes de turno para el desarrollo de un sistema férreo en dicha zona.



Es un aspecto de suma importancia y se muestra en el siguiente gráfico:

Ilustración 3 Distribución de la población en el Urabá por edades



Fuente: Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (2017)

Dicha ilustración permite evidenciar que en la zona predomina la población joven, lo que revela aspectos significativos en términos de mano de obra, que podrán ser tenidos en cuenta para el desarrollo social en esa zona en particular.

Desde los años setenta los diferentes poblados de la zona estaban incomunicados por ausencia de carreteras óptimas para su circulación, lo que originó que se recurriera al transporte aéreo para poder comunicarse con el resto del país. Entre las costumbres más evidentes que es posible observar están el sabor y los bailes típicos, que son productos de la mezcla entre campesino sabaneros, paisas, indígenas y afrodescendientes; entre los platos típicos más reconocidos se encuentran distintas variedades de mariscos, arroz con coco, plátano, yuca, pescados y dulces elaborados con frutas, la gallina sudada y el pescado guisado, los buñuelitos de banano, la torta de banano, el budín de banano, bizcocho de chocolate con banano, licuado de banano y ceviche de camarón, esto por un lado, y por el otro los bailes y las danzas tradicionales que son las indígenas, las afrocolombianas, el bullerengue y las de mestizos.

En cuanto a la dimensión política se refiere, es de suma importancia tener presente y analizar la situación política de la zona que va a ser intervenida, en este caso los municipios por los cuales será el trazado del sistema férreo (Necoclí-Medellín), que incluye aspectos como la estabilidad del gobierno de turno, analizar si existen peligros de secuestros, robos y asesinatos que tengan incidencia en la inestabilidad social de alguno de los municipios; el clima político en el que se evidencia el número de partidos políticos que tengan presencia en la zona y cuáles de ellos son los administradores de dichos municipios; el clima económico, que hace relación a indicadores como el PIB (producto interno bruto), el PNB (producto nacional bruto) y la tasa de inflación, entre otros, que reflejen la situación económica del Urabá antioqueño.

En cuanto a la dimensión legal se tuvo presente el Manual de Normatividad Férrea del Ministerio de Transporte de Colombia (2013), en el que se mencionan todas las especificaciones de diseño, construcción, operación y control ferroviario, mantenimiento y seguridad. El tema ambiental en la construcción de un sistema férreo tiene impactos inevitables en el medio ambiente, como reflejo de su impacto negativo al paisajismo, de la contaminación del aire por medio de la emisión de gases de los vagones en operación, del ruido, de la afectación del suelo y de las aguas superficiales.

El tendido de las líneas férreas lleva consigo una ocupación considerable del suelo, que podrían ser de terrenos agrícolas y selvas tropicales, entre otras posibilidades, que deberán ser tenidos en cuenta en el momento del diseño del trazado de las líneas férreas, lo mismo que los movimientos de tierra originados por la construcción de dichas líneas férreas. En cuanto a las aguas superficiales de los tramos en los que se llevará a cabo la construcción de líneas férreas en terraplenes, deben equiparse con desagües laterales con dimensiones necesarias para garantizar la adecuada evacuación de dichas aguas.

La contaminación por medio de producción de gases de escape del sistema férreo depende, en lo fundamental, del tipo de tracción que se utilice, puesto que la misma puede ser eléctrica, de vapor, de motores diésel o de gasolina, pero para el caso de estudio se enfocó hacia las principales sustancias contaminantes que contiene el gas de escape de los motores diésel.

#### **6.1.1.1.2. Sectores de la economía**

Según el Banco de la República (2015), los sectores de la economía se clasifican en tres grandes grupos: el primario, que es el que obtiene el producto de sus actividades en forma directa de la naturaleza, sin ningún proceso de transformación. El secundario o industrial, que comprende todas las actividades económicas de un país relacionadas con la transformación industrial de los alimentos y otros tipos de bienes o mercancías, que se utilizan como base para la fabricación de nuevos productos. El tercer gran grupo de la economía es el sector de servicios, que incluye todas aquellas actividades que no producen una mercancía en sí, pero que son necesarias para el funcionamiento de la economía. Los dos primeros grupos de la economía producen bienes tangibles y de esta manera se consideran sectores productivos. El último grupo se considera un sector no productivo al no entregar bienes tangibles, pero de igual manera contribuye a la formación del ingreso nacional y del producto nacional. Es común que se haga otra clasificación de los sectores dependiendo de la especialidad de la actividad económica. Un ejemplo de ello son los sectores de la construcción, del transporte, financiero, agropecuario o industrial que, de alguna forma, hacen parte de alguno de los tres grandes grupos.

Cuando se habla de productos más representativos para la economía colombiana, es importante determinar desde qué punto de vista se está hablando. Por ejemplo, desde el punto de vista histórico, el café y los productos agrícolas han ocupado un lugar muy importante en la historia del país, no sólo

por haber desarrollado una producción reconocida mundialmente, sino porque han sido claves en la formación de la estructura social del país (Banco de la República, 2015).

A pesar de que el sector primario a lo largo de la historia ha sido el grupo de actividades económicas que mayor participación ha tenido en el producto interno, en los últimos años los otros dos han ejercido gran protagonismo en el consolidado. En 2016, según el DANE (2017) en su informe trimestral, la rama de actividad económica relativa a los establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas tuvo una participación del 20,88 % con respecto al total de los aportes de las actividades económicas. La rama del transporte, almacenamiento y comunicaciones tuvo una participación del 7,1 %. Las dos ramas hacen parte del sector terciario. En relación con el sector terciario, la rama de actividades económicas que más participación tuvo fue la industria manufacturera, que aportó al PIB un 11,17 %. El sector primario, con la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la pesca, presentó una participación del 6,04 % en el consolidado de ese año. En la ilustración 4 se muestra el consolidado del producto interno bruto por ramas de actividad económicas (PIB) del año 2016.

Ilustración 4 Producto interno bruto (PIB) por ramas de actividad económica

Periodo	Sector primario	Sector secundario				Sector terciario				Producto Interno Bruto (PIB)
	Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	Explotación de minas y canteras	Industrias manufactureras	Suministro de electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	Transporte, almacenamiento y comunicaciones	Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas	Actividades de servicios sociales, comunales y personales	
2016 Pr	32.697 6,04%	34.918 6,45%	60.518 11,17%	18.391 3,40%	40.000 7,38%	66.088 12,20%	38.485 7,10%	113.081 20,88%	83.566 15,43%	541.675 100,00%

Pr: cifras preliminares, cifras en miles de millones.

Fuente: elaboración propia con base en DANE (2017)

### **6.1.1.1.3. Sector terciario o de servicios**

A pesar de que el sector terciario es no productivo, las actividades que reúne son fundamentales para dar soporte a las actividades productivas que se clasifican en dos primeros sectores de la economía. Prueba de ello se refleja en la participación que tuvo el sector de servicios en el consolidado del PIB del año 2016, en el que se resalta la demanda de bienes inmateriales que la dinámica económica del país requirió para su funcionamiento.

Toda actividad considerada “productiva” tiene asociadas con ella otras que la complementan y la apalancan, consideradas “no productivas”. Esas otras actividades son del sector de servicios y son necesarias para hacer aún más productivo a cada sector productor; por tal razón, se podría decir que lo que ofrece el sector de servicios al primario y al secundario es el recurso del tiempo. Un empresario que se dedica a realizar una actividad productiva dejaría de ser tan productivo si parte del tiempo que se dedica a la producción lo emplea en otras actividades necesarias para que la principal de su negocio sea rentable. De esta manera, el empresario que hace uso de los bienes y servicios que el sector terciario le ofrece puede emplear su tiempo en la actividad principal de su negocio y así generar mayor cantidad de ingresos.

El sector de servicios es el más grande y heterogéneo, en comparación con los otros dos, lo que quiere decir que el terciario agrupa un gran número de actividades y con diferentes características entre ellas. Esta condición se ha generado a partir de las revoluciones industriales y la globalización, en las que la necesidad que tienen todas las industrias por optimizar, expandir su alcance y conectarse con el resto del mundo, ha generado un espacio para que tengan cabida innumerables actividades no productivas que hacen posible potencializar las capacidades de las empresas. El transporte, las telecomunicaciones y los servicios financieros son un ejemplo de

los servicios que cualquier empresa requiere para poder desarrollarse en el sistema capitalista del país.

#### **6.1.1.1.4. Sector del transporte en Colombia**

Aunque una de las etapas más importantes del proyecto es la construcción de la infraestructura del sistema férreo, el objetivo principal de esta idea de inversión es potencializar el sector del transporte en el país a través de la optimización y la integración de los componentes del sistema de transporte de carga y pasajeros actual; por esta razón, entre las actividades relativas a los ingresos, de manera específica en el estudio del entorno, se habla en forma superficial sobre el sector de la construcción; por el contrario, se hace un análisis en profundidad del transporte de la economía colombiana debido a que un adecuado estudio de este grupo de actividades determina en gran proporción la viabilidad económica del proyecto de inversión.

##### **6.1.1.1.4.1. Generalidades**

El sector del transporte, perteneciente al terciario o de servicios de la economía, es, en general, un grupo de actividades que se caracterizan por que tienen como función principal facilitar el traslado de cosas, animales o personas de un lugar a otro. Por un lado, se encuentra el transporte de carga, en el que se hace, a pequeña o a gran escala, el traslado de materias primas o productos terminados. Por otro lado, se encuentra el de pasajeros, a través de servicios públicos o privados. El sistema de transporte está conformado por diferentes medios o modos que, vistos en forma conjunta, se articulan para formar una red que comunica a todos los puntos de una región o del mundo. Dichos medios se desplazan por diferentes espacios, que reciben el nombre de vías de transporte y son: suelo, agua y aire.

El sector del transporte es uno de los actores fundamentales del desarrollo económico de un país, debido a que es el que conecta las diferentes actividades de los sectores productivos y no productivos y es el que pone los productos al alcance del consumidor final. Está relacionado en forma tan estrecha con la dinámica económica de un país que el comportamiento de esta actividad refleja el económico nacional, lo que se debe a que las necesidades de la relación entre demanda y oferta se satisfacen a través del sector del transporte. A medida que la demanda crece y se satisface de la oferta, el transporte crecerá de manera proporcional a este comportamiento; pero, si por el contrario, la demanda disminuye o la oferta no es la suficiente, el transporte disminuirá. “El transporte es un factor crucial para impulsar el crecimiento económico, reducir la pobreza y lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio” (Banco Mundial, 2014).

En Colombia, el transporte está regulado por el Ministerio de Transporte, según el artículo 1° del decreto 87 del 17 de enero de 2011:

El Ministerio de Transporte tiene como objetivo primordial la formulación y adopción de las políticas, planes, programas, proyectos y regulación económica en materia de transporte, tránsito e infraestructura de los modos de transporte carretero, marítimo, fluvial, férreo y aéreo y la regulación técnica en materia de transporte y tránsito de los modos carretero, marítimo, fluvial y férreo (Presidencia de la República, 2011, artículo 1).

Junto al ministerio existen entidades adscritas, como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), que tiene como objetivo ejecutar políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la red vial nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima; la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), que es la encargada de gestionar y evaluar proyectos de concesiones y otras formas de asociación público-privada (APP), para el diseño, la construcción, el mantenimiento, la operación, la administración y la explotación de la infraestructura pública de transporte en todos

sus modos. En Ministerio de Transporte también se encuentra la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (AEROCIVIL), que tiene como funciones gestionar políticas y planes generales de aeronáutica civil y transporte aéreo para el desarrollo aeronáutico y aeroportuario del país, al igual que dirigir, organizar, coordinar y regular, desde el punto de vista técnico, el transporte aéreo. La Superintendencia de Puertos y Transporte (SUPERTRANSPORTE) vigila, inspecciona y controla la prestación del servicio público de transporte marítimo, fluvial, terrestre, férreo y aéreo en el país, en cuanto a lo que calidad de infraestructura y prestación del servicio se refiere. La Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (CORMAGDALENA), según el artículo segundo de la ley 161 de 1994, tiene como objeto la recuperación de la navegación y de la actividad portuaria, la adecuación y la conservación de tierras y la generación y la distribución de energía, así como el aprovechamiento sostenible y la preservación del medio ambiente, los recursos ictiológicos y demás recursos naturales renovables. Por último, la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), cuyas funciones se centran en la planeación, la gestión, la ejecución, el seguimiento y el control de las estrategias, planes y acciones dirigidos a dar cumplimiento a las políticas de seguridad vial en todo el país. Estas entidades ejercen sus funciones de acuerdo con las directrices del Ministerio de Transporte y se articulan unas con otras para dar soporte a las necesidades de los usuarios del sistema de transporte colombiano.

#### **6.1.1.1.4.2. Transporte fluvial**

Colombia es un país que cuenta con una riqueza hídrica que se refleja en la extensión de red superficial de aguas que cubre al territorio nacional. Debido a su ubicación geográfica, presenta abundantes lluvias durante la mayoría de los meses del año; en 2014, según el Banco Mundial (2017), Colombia presentó una precipitación promedio anual de más de 3.000 mm, que es un valor alto en comparación con el nivel promedio de lluvias mundial de 900 mm al año. Debido a



las características de los suelos, se favorecen las condiciones de almacenamiento de agua en el subsuelo y en la superficie. El potencial hídrico de Colombia es excepcional debido al relieve del suelo, con sus montañas, sabanas, selvas húmedas y páramos.

En Colombia existen cinco cuencas principales, que son la base para clasificar el sistema de transporte fluvial del país. La primera de ellas es la del Atrato que, junto con la del Magdalena, fluye hacia el norte; en el Océano Atlántico desembocan las del Orinoco y el Amazonas. La última gran cuenca de Colombia es la del Pacífico, que tiene como lugar de desembocadura dicho océano. Según el Plan Maestro Fluvial de Colombia 2015 (Ministerio de Transporte y DNP, 2015), los ríos principales de las grandes cuencas de Colombia tienen una longitud total de 24.725 km, de los cuales 7.063 km son navegables en forma permanente y 6.500 km son no navegables. El total de kilómetros navegables es de 18.225 km, si se incluyen también los ríos que son en parte navegables. En la ilustración 5 se resaltan las grandes cuencas de Colombia y los principales ríos del país.

Ilustración 5 Cuencas principales y ríos de Colombia



Fuente: Ministerio de Transporte y DNP (2015)

En comparación con otras naciones y otros con otros modos, el transporte por vías fluviales en Colombia es incipiente; como se menciona en Ministerio de Transporte y DNP (2015), el volumen nacional de carga transportada en 2014 fue de cerca de 300 millones de toneladas, lo que equivale al volumen transportado en 2010 en el río Mississippi en menos de 2,5 días y en el río Rin en menos de cuatro días. El 1 % de estos 300 millones de toneladas se transportaron por vías fluviales. La mayoría de la carga se mueve por los ríos Magdalena y León.

El transporte fluvial colombiano tiene dos propósitos; el primero de ellos es el transporte de pasajeros que, en su mayor proporción, se da sin ningún tipo de regulación y su utilización ocurre para trasladar a las personas desde zonas alejadas, en las que la accesibilidad por otros medios diferentes a pequeñas embarcaciones por los ríos es difícil, hasta los lugares de concentración de poblaciones como pueblos o veredas. El segundo propósito es el transporte de carga, sobre todo de carbón y de derivados del petróleo, en la que en términos generales, su sistema operativo es unidireccional, lo que quiere decir que la mayoría de las embarcaciones hacen los recorridos con su capacidad de transporte al máximo en un solo sentido del trayecto y se devuelven a su lugar de origen sin carga alguna, de modo que desaprovechan el viaje de regreso para producir dinero y poder ser más productivos. Un factor determinante para que tal situación es la carencia de infraestructura fluvial y logística para conectar el transporte fluvial con otros modos de transporte.

A pesar de que Colombia ha hecho esfuerzos de inversión en infraestructura para el transporte fluvial, como el canal del Dique entre Cartagena y Calamar, con una longitud de 128 km, o el canal que comunica a Ciénaga con Barranquilla, con una longitud de 60 km, en general, según el diagnóstico del Plan Maestro Fluvial

“es el sector de infraestructura que menos regulación técnica y económica actualizada tiene, incluyendo la normatividad de obras hidráulicas y de tráfico. Carece de eficiencia en el control y adecuada organización de la autoridad fluvial.

Viendo la interacción de las entidades de transporte fluvial en Colombia, se puede concluir que necesitan una mejor estructura y adecuada organización” (Ministerio de Transporte y DNP, 2015).

La promoción del transporte fluvial también está a cargo del Ministerio de Transporte a través del Plan Nacional de Desarrollo; sin embargo, Colombia carece de un grupo de trabajo o agencia especializada para que vele por la promoción, la modernización y la optimización de la flota, gestione la relación entre modos de transporte e influya en las políticas que garanticen la operatividad sostenible del sistema.

#### **6.1.1.1.4.3. Transporte marítimo**

Debido a que el transporte marítimo posibilita el traslado de grandes volúmenes de carga, es el medio de transporte más económico utilizado para el comercio internacional en la actualidad. En el año 2016, según el boletín estadístico del tráfico portuario en Colombia de la Superintendencia de Puertos y Transporte (2017), las zonas portuarias de Colombia se movilizaron 201,8 millones de toneladas, con un crecimiento del 2,2 %, en relación con 2015, en el que se movilizaron 4,3 millones de toneladas más que el año anterior. Este incremento se obtuvo gracias al aumento de las exportaciones de carbón en la zona norte de Colombia, de manera específica en Ciénaga. De igual manera, según la Superintendencia de Puertos y Transporte (2017) se presentó un crecimiento en la carga movilizada (petróleo y sus derivados, miscelánea y maíz) a través de las zonas portuarias de Santa Marta, Cartagena, Tumaco, Barrancabermeja y San Andrés. La zona portuaria de Ciénaga fue la que tuvo la mayor participación en el tráfico portuario del año 2016, con 53 millones de toneladas movilizadas y un incremento de 19% respecto al año anterior. La segunda zona portuaria con mayor incidencia, con una participación del 18,3%, fue Cartagena, que movilizó 36,9 millones de toneladas, con un aumento de 2,2 millones de toneladas con respecto al año anterior. El golfo de Morrosquillo, con una

participación del 17,8%, estuvo en la tercera posición y presentó disminuciones en el número de toneladas movilizadas con respecto a 2015 debido a la baja exportación de petróleo y sus derivados.

#### **6.1.1.1.4.4. Transporte férreo**

En la actualidad, el transporte a través del modo férreo en Colombia es escaso y menos de la mitad de la red férrea se encuentra en operación. Según las cifras presentadas por el Ministerio de Transporte en su informe anual (2016a), la red ferroviaria está compuesta por un total de 3.529 km, de los cuales 1.645 se encuentran en operación y 1.884 están inactivos. Del total de las vías férreas activas, el 88% están a cargo de la nación, a través de la ANI y el INVIAS, y el 12% restante es de propiedad y uso privado, que corresponden a Belencito - Paz del Río y Cerrejón - Puerto Bolívar.

El transporte de pasajeros por sistemas férreos en el país es incipiente; en 2016, según el Ministerio de Transporte (2016a), se movilizaron 479.665 pasajeros, lo que representa un 0,22% del total de pasajeros movilizados en el país en ese año si se consideran, además, los transportes terrestre, aéreo y fluvial. El transporte de carga en los últimos ocho años ha disminuido: en 2016 se transportó alrededor de 55,2 millones de toneladas, de las que el 98% de la carga correspondió a carbón. En ese año hubo un aumento del 15 % con respecto al número de toneladas del año anterior, pero, en comparación con los últimos años, la cifra ha disminuido. En la ilustración 6 se muestra el comportamiento del transporte de carga por medio de la red férrea en Colombia desde el año 2008 hasta 2016; se evidencia una disminución significativa en la movilización de carga en los últimos años.

Ilustración 6 Carga del sistema férreo en Colombia



Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Transporte (2016)

Según la Asociación Nacional de Instituciones Financieras (ANIF),

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 (ANIF, 2014).

#### 6.1.1.1.4.5. Transporte carretero

De acuerdo con las cifras del Ministerio de Transporte (2016a), Colombia cuenta con alrededor de 206.500 km de vías que conforman el total de la red vial nacional. La red primaria, a cargo de la Nación, está conformada por cerca de 19.079 km, de los que el 53% están delegadas por el Ministerio de Transporte a la ANI (vías concesionadas) y el porcentaje restante al INVIAS. Alrededor de 45.137 km corresponden a la red secundaria, en la que los departamentos son los encargados. La red terciaria está conformada por 142.284 km de vías.

En las últimas décadas, Colombia ha fortalecido su modelo de gestión para la financiación, la planeación, la ejecución y el mantenimiento de la red vial nacional, cuyo modelo se sustenta, en lo fundamental, en la promoción del sistema de

concesiones viales. El rol que desempeña este tipo de mecanismo es fundamental en la realización de un mayor número de vías y de mejor calidad para lograr comunicar al país. Este modelo de construcción de infraestructura en el país comenzó en 1994 con la primera generación de concesiones, proceso que ha evolucionado en todos los aspectos hasta llegar a la cuarta generación. La primera generación tuvo como objetivo primordial el mejoramiento del acceso a las ciudades a través de la rehabilitación y la ampliación de las calzadas. La segunda generación surgió de la necesidad de solucionar los problemas identificados durante la primera, tales como la reasignación de los riesgos contractuales. La tercera generación tuvo como finalidad el mejoramiento de acceso a los puertos marítimos desde los más importantes centros productivos. Hasta ahora, la cuarta y última generación tiene como objetivo principal

reducir la brecha en infraestructura y consolidar la red vial nacional a través de la conectividad continua y eficiente entre los centros de producción y de consumo, con las principales zonas portuarias y con las zonas de frontera del país (CONPES, 2013).

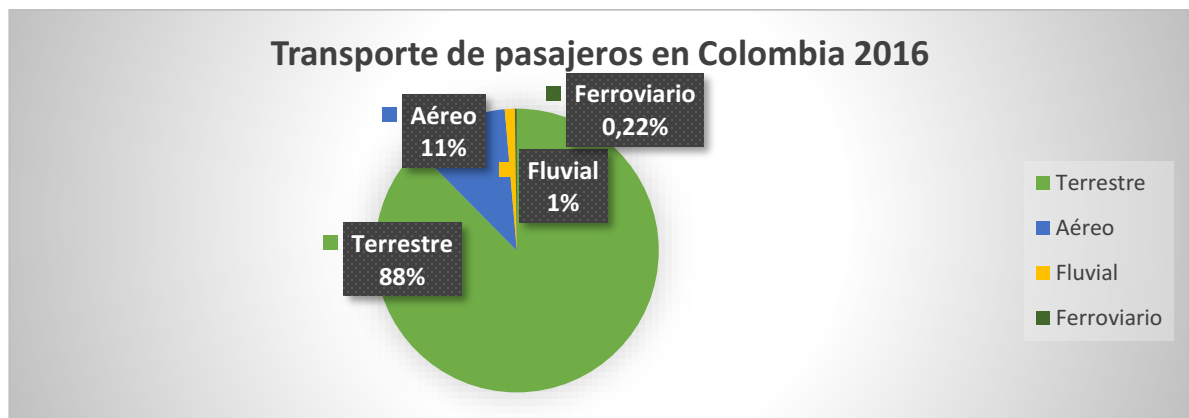
De igual manera, mejorar la competitividad del país y disminuir el costo y los tiempos de transporte de personas, y, en especial, de carga, desde los puntos de manufactura hasta los puertos de exportación.

Las concesiones han demostrado ser un instrumento útil para llevar a cabo la construcción de obras de infraestructura que de otra forma hubiera resultado hacer con recursos propios, de modo que este sistema debe seguir operando. La Nación ha venido aprendiendo durante el proceso de modo que ahora se realizan mejores negociaciones contractuales que evitan las grandes pérdidas por concepto de pagos por garantía (Pérez V., 2005).

El transporte de pasajeros a través del modo terrestre es con ventaja amplia el sistema de mayor utilización por los usuarios con respecto a los restantes; en 2016, según cifras del Ministerio de Transporte (2016a) se movilizaron por carretera en el

país 189.953.909 pasajeros, con una participación del 87,6% con respecto al total de pasajeros movilizados en ese año. En la ilustración 7 se evidencia la distribución de pasajeros por modo de transporte en el año 2016; se destaca que el modo carretero es el sistema de transporte de pasajeros nacionales más utilizado en Colombia.

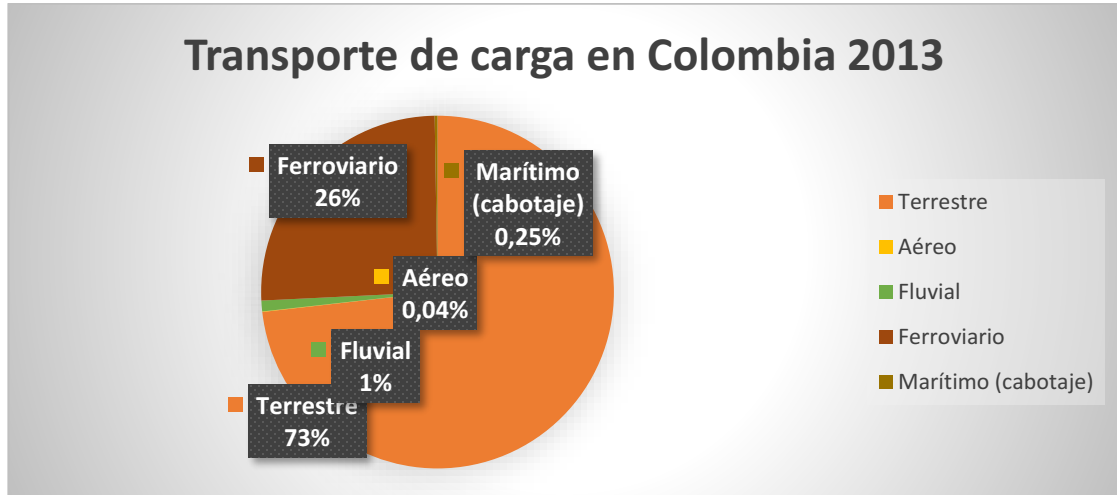
Ilustración 7 Transporte de pasajeros en Colombia en 2016



Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Transporte (2016a)

El transporte de carga nacional a través del modo terrestre fue el sistema de mayor utilización de los usuarios con respecto a los otros modos de transporte; en 2013, según cifras del Ministerio de Transporte (2016a), se movilizaron por carretera en el país 220.309.000 toneladas de carga, con una participación del 73,19% con respecto al total de toneladas de carga movilizadas en ese año. En la ilustración 8 se evidencia la distribución de carga movilizada por modo de transporte en el año 2013; se destaca que el modo terrestre fue el sistema de transporte de carga más utilizado en Colombia.

Ilustración 8 Transporte de carga en Colombia en 2013



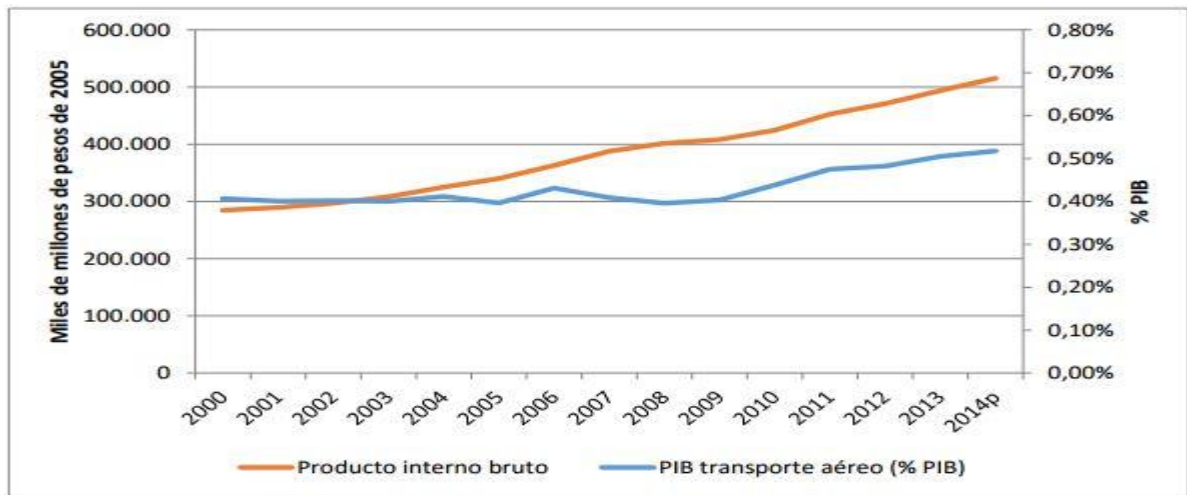
Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Transporte (2016)

#### 6.1.1.1.4.6. Transporte aéreo

El transporte aéreo en Colombia ha evolucionado de manera creciente y positiva, según Martínez Ortiz y García Romero (2016), el producto interno bruto (PIB) de este sector en los últimos 15 años ha tenido dicho comportamiento y llegó en 2014 a 2,6 billones de pesos constantes de 2005. Su participación en el PIB del país entre los años 2000 y 2010 se mantuvo casi constante, con un promedio anual de 0,4%, mientras que a partir de 2010 aumentó su participación al 0,5%. Lo anterior demuestra que la demanda de transporte aéreo ha evolucionado según la dinámica económica de la nación.



Ilustración 9 Participación del PIB transporte aéreo en PIB nacional



Fuente: Martínez Ortiz y García Romero (2016)

En el 2016, según la Aeronáutica Civil (2017b) se movilizó un total de 35,77 millones de pasajeros de origen a destino, lo que representa un crecimiento del 4,81% en relación con el año 2015, equivalente a 1,64 millones de personas. Fue la segunda tasa de crecimiento más baja desde el año 2008, período en el que el transporte de pasajeros se incrementó en 4,49%. La participación de tráfico doméstico del año 2016 disminuyó con respecto a la del año 2015, en la que el porcentaje de los pasajeros domésticos pasó del 67,73 % al 60% del tráfico total. Según este informe, en 2016 se triplicó el número de pasajeros de transporte aéreo del año 2004; además, excedió el doble del de pasajeros movilizadas en 2009. En los últimos diez años la tasa promedio de crecimiento anual de los pasajeros de origen a destino fue de 10,4%.

Según cifras por la Aeronáutica Civil (2017a), entre los recursos asignados por obra pública en el período 2011-2017 en 63 aeropuertos a cargo de la Aerocivil y 20 comunitarios, fueron adjudicados \$2,11 billones en pistas, torres de control, terminales aéreas y cuarteles de bomberos. Además, se entregaron recursos por \$530 mil millones para ayudas a la navegación aérea, para un total de \$2,64

billones. Según la misma fuente, en el período 2018-2020 se tendrá una inversión de \$1,60 billones para la infraestructura de este sector. El Gobierno Nacional hace estas inversiones que se ejecutan a través de la de la Aeronáutica Civil y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), con el fin de transformar los aeropuertos del país, con la mira de contar en un futuro inmediato con plataformas acordes con las exigencias actuales de la industria aérea mundial.

Con esta inversión, se está mejorando y ampliando toda la infraestructura aeroportuaria nacional que durante varios años estuvo rezagada, hoy aeropuertos concesionados como los de Bogotá, Cali, Medellín y Cartagena, muestran una imagen positiva tanto al nacional como al extranjero, que hacen uso de renovadas terminales aéreas o, las inversiones en aeropuertos regionales como los de Yopal, Ibagué, Pasto, Leticia, entre otros, que se convierten en obras emblemáticas para las regiones favoreciendo la conectividad y competitividad (Aeronáutica Civil, 2017a).

Según un estudio de mercados realizado por la Superintendencia de Industria y Comercio (2012), existe un total de 202 aeropuertos entre comerciales, militares, municipales y privados de los que en diciembre de 2012 la Aeronáutica Civil era la autoridad encargada de velar por la operación y control de 70. De acuerdo con los criterios de esta autoridad, de los 202 aeropuertos que se encuentran en el país, 11 clasifican para denominarse terminales aéreas internacionales, que son: en Bogotá, El Dorado, el Ernesto Cortissoz en la ciudad de Barranquilla, en Santa Marta el Simón Bolívar, el Rafael Núñez en Cartagena, el José María Córdova en Rionegro, el Alfonso Bonilla Aragón en Cali, el Alfredo Vázquez Cobo en Leticia, el de Palonegro en Bucaramanga, el de Matecaña en Pereira, el Gustavo Rojas Pinilla en San Andrés y el Camilo Daza en Cúcuta (SIC, 2012).

#### **6.1.1.1.5. Tendencias del sector**

Con el desarrollo en ciencia y tecnología, el transporte evidenció la oportunidad de plantear nuevas estrategias que resulten más económicas, seguras y amigables con el medio ambiente, pues se debe tener en cuenta que los sistemas de transporte están en constante evolución, lo que trae consigo retos para los fabricantes y los gobernantes de turno lo referente a la construcción de sistemas de transporte livianos, resistentes, económicos y funcionales que estén a la vanguardia del mercado y así puedan suplir las necesidades de la población.

Colombia debe poner especial atención en el desarrollo de sistemas de transporte que estén a la par con la tecnología e implementar estrategias innovadoras que permitan establecer bases sólidas en cuanto a ventajas competitivas, que lleven al país a involucrarse de manera más eficiente los convenios multilaterales de comercio, como contexto indispensable en el desarrollo económico nacional.

El transporte futuro debe brindar seguridad en las vías y disminuir en forma sustancial la contaminación, así como también reducir los costos de operación vehicular en busca de eficiencia y de satisfacción de los usuarios.

El transporte del futuro debe ir de la mano con las telecomunicaciones y la informática para lugar al sistema inteligente de transporte, con el fin de dinamizar en tiempo real los sistemas de alta complejidad.

Según Colombia sigue dando pasos para mejorar en competitividad (2016), se dio una muestra clara de los avances que ha tenido Colombia en el tema de transporte, lo que permite conocer de primera mano que, después de permanecer por décadas en los últimos puestos en la lista de competitividad por deficiente infraestructura en el transporte, la logística y la innovación, en los últimos siete años ha logrado mejorar posiciones por los avances obtenidos, esto es, “tras ocupar el puesto 66 en el Índice de Competitividad Global, pasó en ese lapso al lugar 61, en la mitad de la

tabla, de acuerdo con el 'ranking' del Foro Económico Mundial" (Colombia sigue dando pasos para mejorar en competitividad (2016).

Así las cosas, el transporte carretero en el país ha mostrado avances en tecnologías, en campos de control del tránsito y en el suministro de información en tiempo real al público usuario, lo mismo que en sistemas de navegación y seguimiento de vehículos y cargas en tránsito, así como en administración de sistemas de estacionamientos y de pago de servicios de transporte en función directa de la intensidad de uso. En el caso de las vías o autopistas de concesión, las aplicaciones más comunes y reconocidas por todos de estas tecnologías son los sistemas electrónicos de cobro (*flypass*) y de facturación de peajes, la supervisión funcional de los costos, la vigilancia de la operación y la provisión de respuestas ante emergencias, según expresó Édgar Correa (2011).

En cuanto al transporte marítimo se refiere, este tipo de transporte obtendrá ventajas gracias a la instalación de sistemas inteligentes de transporte (SIT), que serán usados para fines administrativos como gestión de bodegas, reducción considerable en los movimientos para el manejo de la carga durante los procesos de estiba y desestiba, identificación clara de la posición de contenedores de refrigeración y aislamiento de la carga de materiales peligrosos; en los puertos estos sistemas inteligentes de transporte son útiles para optimizar el espacio en las terminales. Así, el desarrollo en materia portuaria, en lo que respecta a las innovaciones en carga y descarga, intercambio electrónico de información y accesos más expeditos a trenes y camiones de carga de contenedores, permitirá una eficiencia en tiempo real. En conclusión, los avances tecnológicos de instalar instrumentos automáticos, tanto en barcos como en los puertos, brindarán también una significativa reducción en los costos de operación.

De igual manera, adujo el señor Correa en el mismo artículo que el transporte aéreo que el desarrollo de los GPS abrió, entonces, la posibilidad de un nuevo entorno

automatizado para la navegación aérea que tendrá como consecuencia un aumento en la capacidad de la aviación y menores requerimientos de infraestructura en pistas de aterrizaje. Para acceder a un transporte aéreo más eficiente y competitivo, todo ello deberá ser considerado en la construcción, la modernización y la innovación de los principales aeropuertos colombianos; la repercusión que o anterior tendrá se verá reflejado en la reducción del uso de las aeronaves y de su consumo de combustible, como resultado de cubrir las rutas en forma más directa (Correa, 2011).

Entre otras innovaciones tecnológicas, en la actualidad existe un impacto mundial en cuanto dirigibles se refiere, que son la forma más lujosa de volar de la historia; se trata de aeronaves que son aerostatos autopropulsados; según expresó el señor Correa, se prevé que comenzarían a operar en la primera década del siglo XXI. Hoy en día existen aproximadamente 15 fabricantes, ubicados en diez países (Correa, 2011).

Se espera con estos dirigibles que el sector del transporte tenga avances competitivos en cuanto a bajos costos y eficiencia. Sus ventajas sobre las demás aeronaves se refieren a su reducida demanda de potencia, la poca incidencia en contaminación ambiental y sus bajos costos en cuanto a operación se refiere. Sus diseños tienen ahora sólidas bases científicas y técnicas en muchos países.

En cuanto a los dirigibles se refiere, son medios de transporte que cumplen funciones que otras aeronaves no pueden satisfacer; sus capacidades de volar a una altura relativamente baja y de despegar y aterrizar en forma vertical los hacen adecuados para lugares en los que las aeronaves actuales no pueden operar. Las principales ventajas que se encuentran en que los dirigibles se pueden quedar suspendidos en el aire y en que la infraestructura requerida para su normal operación es modesta, así como el escaso personal para su óptima operación.

Según Así se adelantan las obras ferroviarias en el país (2016), en el caso del transporte ferroviario, de acuerdo con información suministrada por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), la infraestructura férrea del país está compuesta por 3.338 kilómetros de red divididos en cuatro corredores. De este total, 1.725 kilómetros están a cargo del Instituto Nacional de Vías (Invías) y 1.613 kilómetros de la ANI (Así se adelantan las obras ferroviarias en el país, 2016).

La ANI ha entregado a privados la concesión de una parte de la red que tiene a su cargo y ellos deberán operarla, mantenerla y explotarla, y la otra parte a contratistas para que, por obra pública, reparen y vigilen las líneas. “Desde 2011 hasta 2015 a la infraestructura férrea del país se le dio un nuevo aire: se han reactivado tramos, ha aumentado la cantidad de carga movilizada en otros y se repararon los daños causados por la ola invernal de los años 2010 y 2011”, explicó una fuente oficial (Así se adelantan las obras ferroviarias en el país, 2016).

Desarrollar un sistema férreo trae ventajas, tanto para los usuarios como para la industria; expuesto lo anterior es deseable el desarrollo de tecnologías que ayuden optimizar el sistema; en la actualidad existen sistemas de control positivo de trenes, lo que permite localizarlos en tiempo real por medio de un sistema de posicionamiento global vía satélite (GPS). La forma en que estos sistemas funcionan es la siguiente: en cada uno de los vagones que conforman el sistema férreo se ubican computadoras enlazadas entre sí, a través de una red de radio digital, con la estación central de control; además también de aumentar la protección de los operarios que realizan labores de mantenimiento en la red, dicho monitoreo constante de trenes y vagones realizado por medio de este desarrollo tecnológico permitirá asegurar que los trenes operen de manera óptima y más eficiente dentro de las normas establecidas por el ente competentes del sector. Entre algunas innovaciones que se presentaran en los sistemas férreos está el uso de fibra óptica para detectar averías en las líneas de hierro y un seguimiento a los trenes y vagones vía internet.

La ilustración 10 muestra un balance favorable, pues se priorizaron los 65 proyectos de orden vial, aéreo, férreo, marítimo y fluvial que se deben ejecutar de aquí al año 2025, lo que implicará un importante beneficio originado en las innovaciones tecnológicas relacionadas con el manejo de la información, puesto que se dispondrá de mejores instrumentos de comunicación que habrán de traducirse en una mayor eficiencia del desempeño logístico.

Ilustración 10 Balance de inversiones en infraestructura



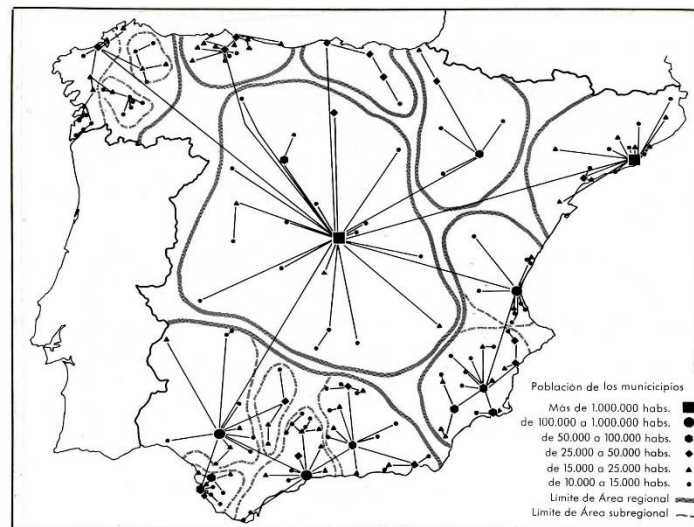
Fuente: Arias Jiménez (2016)

### 6.1.1.1.6. Factores clave del éxito de la empresa en el sector

La influencia del ferrocarril en la organización del territorio con base en factores esenciales, como son la población y las distancias por acortar, con los desarrollos tecnológicos de la nueva era y con una adecuada modelación permitiría, sin lugar a duda, una indiscutible clave para el éxito de este medio de transporte.

Existen obras ferroviarias en grandes ciudades que implementaron modelos de simulación como lo fue el caso de los ferrocarriles españoles hace más de 35 años, según lo plasma Capel (2007).

Ilustración 11 Simulación de redes ferroviarias



Fuente: Capel (2007)

La adecuada planeación y modelación de las líneas previstas, de conexiones entre terminales e intermedias y de estaciones de empalme haría posible la conexión de regiones alejadas con el propósito de aumentar accesibilidad con las grandes ciudades y proporcionaría ventajas comparativas a las industrias y a las producciones agrícolas de algunas ciudades que hoy no cuentan con medios de transporte idóneos y cuya accesibilidad está reducida por la complejidad del territorio en cuanto a vías de acceso y conflicto social, entre otras situaciones que ponen en desventaja dichos lugares. El trazado concreto de las líneas debe contener muchas alternativas, concernientes a la topografía del territorio y a las fuentes hídricas por intervenir.

Es de gran trascendencia para las ciudades que los ferrocarriles lleguen a obtener una integración económica de los mercados locales, pues su función principal no puede reducirse solo a medio de transporte para los potenciales usuarios del servicio público.



Otra clave del éxito está encaminada a que la organización de la red ferroviaria y de su incidencia en las ciudades es que esté incluida en las políticas de desarrollo económico y las necesidades de control territorial, de modo que el desarrollo y la innovación en el tema de transporte inciten a los gobernantes de cada período a mejorar en los ámbitos comercial, industrial y de movilidad.

#### **6.1.1.1.7. Diagnóstico de carreteras en Antioquia: el Urabá antioqueño**

En la actualidad, Antioquia está siendo protagonista en la participación de la cuarta generación de concesiones (4G), cuyo objetivo es

reducir la brecha en infraestructura y consolidar la red vial nacional a través de la conectividad continua y eficiente entre los centros de producción y de consumo, con las principales zonas portuarias y con las zonas de frontera del país (CONPES, 2013),

puesto que el programa más grande de esta generación de concesiones es el de autopistas para la prosperidad, cuya inversión, según la ANI (2015a), está estimada en 13,4 billones de pesos; serán intervenidos 1237.5 km y tiene como premisa interconectar los centros producción de sur a norte con Antioquia, el Valle del Cauca, el Eje Cafetero, el Valle los ríos Cauca y Magdalena y el puerto de Buenaventura.

El inicio de actividades de este programa empezó en 2015 con los diseños, la gestión predial y los licenciamientos; la construcción de los proyectos inició a finales de 2015 y se planificó para que terminara a finales de 2025. La operación y el mantenimiento de los proyectos, por parte de los concesionarios, en general, será hasta 2042, según Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia y Universidad Pontificia Bolivariana (2015).

En el programa de autopistas para la prosperidad se encuentran las siguientes concesiones: en la parte central de Antioquia, hacia el este, se encuentra la concesión Vías del Nus (Autopista al Río Magdalena 1), que iniciará en Bello, pasará por Hatillo, Porcesito, Cisneros y terminará en alto de Dolores. La concesión Don Matías-Caucasia, que iniciará con su conexión con Vías del Nus, en Don Matías y pasará por Yarumal y Tarazá hasta llegar a Caucaasia; la concesión Autopista al Río Magdalena 2, que iniciará en Remedios, pasará por Alto de Dolores y terminará en Puerto Berrío, a través de una variante que la unirá al proyecto Ruta del Sol; la Autopista Conexión Norte, proyecto que está ubicado en el nordeste de Antioquia, con inicio en el municipio de Remedios, pasará por Zaragoza y terminará en Caucaasia. En el suroeste del departamento se encuentran las concesiones Pacífico 1, Pacífico 2 y Pacífico 3; las primeras dos de estarán conectadas por medio de un circuito entre Ancón Sur, La Primavera, Bolombolo y La Pintada. Pacífico 3 iniciará en La Pintada y se dirigirá al sur, pasará por Irra en Quinchía (Risaralda), Tres Puertas y una variante que llegará hasta La Virginia (Risaralda). En la ilustración 12 se muestra la localización de las 4G en el departamento de Antioquia.

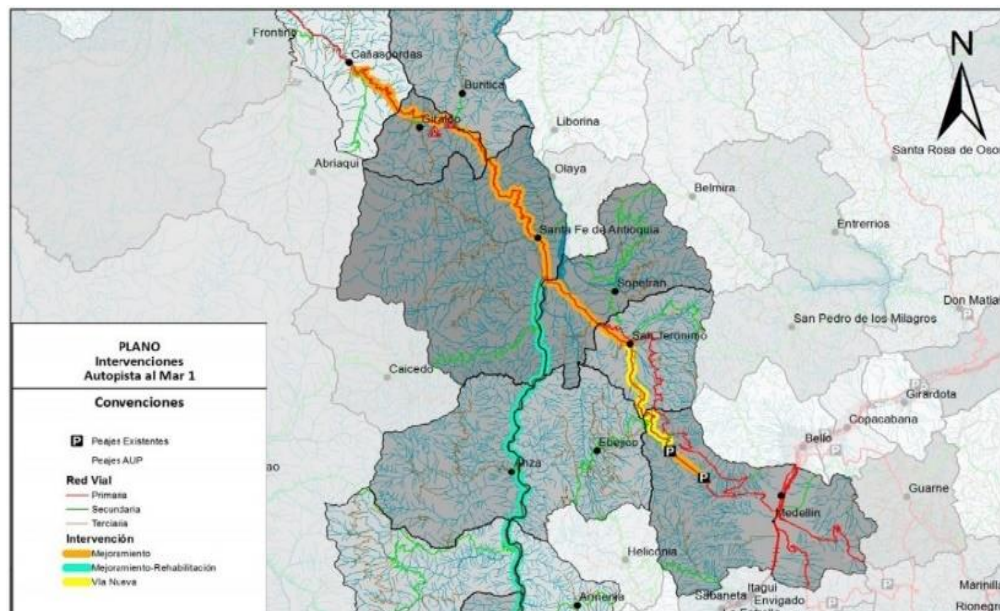
Ilustración 12 Localización de vías 4G en Antioquia



Fuente: Consorcios miden sus fuerzas en autopistas de la prosperidad (2013)

Dentro del alcance del programa autopistas para la prosperidad también se encuentra, en el noroeste de Antioquia, la vía hacia el Urabá antioqueño, la concesión Autopista al Mar 1, que inicia desde Medellín, pasa por Santa Fe de Antioquia y finaliza en Cañasgordas. Esta concesión también incluye un tramo entre Santa Fe de Antioquia y Bolombolo; ver ilustración 13.

Ilustración 13 Localización de Mar 1



Fuente: Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia y Universidad Pontificia Bolivariana (2015)

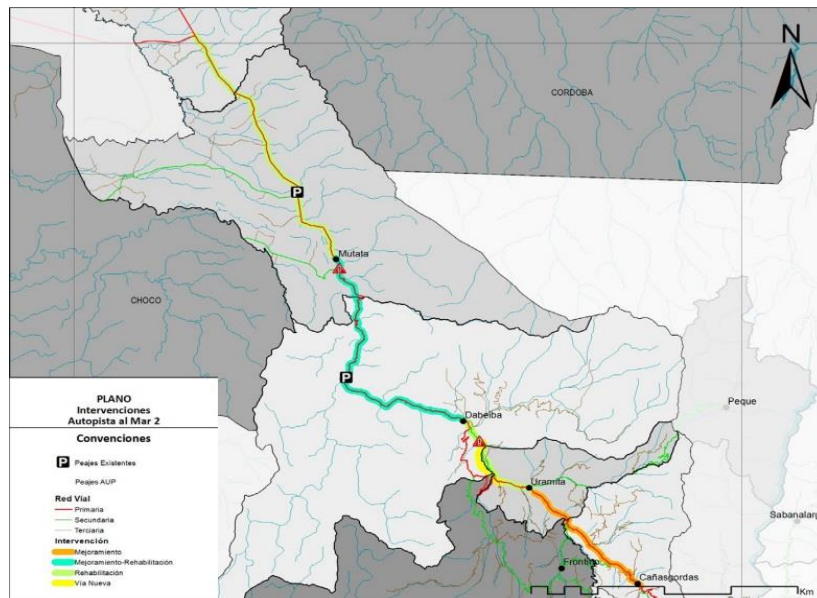
La concesión Autopista al Mar 2 conecta con Mar 1 en Cañasgordas, pasa por Dabeiba y Mutatá y termina en El Tigre, donde se enlazará con la concesión Transversal de las Américas. Ver ilustración 14.

Ilustración 15 Caracterización de MAR 1

Caracterización		
<b>Conexión</b>		
Longitud (km)	Mar 1	
Mejoramiento (km)	176	
Carril de adelantamiento (km)	99	
Calzada nueva (km)	-	
Doble calzada nueva (km)	43	
Doble calzada nueva (km)	33	
Mejoramiento (km)	72	
<b>Túneles</b>	Obligatorios (nro.)	9
	Obligatorios (km)	19
	Complementarios (nro.)	13
	Complementarios (km)	3
Puentes (nro.)	50	
Puentes (km)	3	
Ahorro tiempo (min.)	47	
Peajes nuevos	-	
Peajes existentes	San Cristóbal / Palmitas (Túnel de Occidente)	
Tercer carril (km)	-	

Fuente: Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia y Universidad Pontificia Bolivariana (2015)

Ilustración 14 Localización de Mar 2



Fuente: Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia y Universidad Pontificia Bolivariana (2015)

Ilustración 16 Caracterización de Mar 2

Caracterización		
Conexión	Mar 2	
Longitud (km)	139	
Mejoramiento (km)	118	
Carril de adelantamiento (km)	-	
Calzada nueva (km)	16	
Doble calzada nueva (km)	-	
Mejoramiento (km)	-	
Túneles	Obligatorios (nro.)	1
	Obligatorios (km)	2
	Complementarios (nro.)	22
	Complementarios (km)	4
Puentes (nro.)	13	
Puentes (km)	6	
Ahorro tiempo (min.)	101	
Peajes nuevos	Vallesi (Dabeiba – Mutatá. Caucheras (Mutatá – El Tigre)	
Peajes existentes	-	
Tercer carril (km)	-	

Fuente: Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia y Universidad Pontificia Bolivariana (2015)

En el Urabá antioqueño también se están terminando de ejecutar las obras correspondientes al megaproyecto Transversal de las Américas, perteneciente a la tercera generación de concesiones, en la que el contrato de construcción terminará en 2018 y a partir de esa fecha la operación y el mantenimiento estarán bajo cargo de la concesión Autopista al Mar 2. En alcance de Transversal de las Américas se encuentran la construcción de una segunda calzada entre El Tigre y Turbo, el mejoramiento de la vía que conecta a Turbo con Necoclí y, por último, la rehabilitación, la mejora y el mantenimiento entre Necoclí, Mulatos, San Juan de Urabá y Arboletes (límite entre el Urabá antioqueño y Córdoba). Esta vía tiene continuidad en el departamento de Córdoba por la ruta Arboletes-Montería en la que en la actualidad se hace rehabilitación de la calzada. En la ilustración 17 se muestra

el paso de Transversal de las Américas por el Urabá antioqueño y la conexión con el departamento de Córdoba.

Ilustración 17 Localización Transversal de las Américas en el Urabá antioqueño



Fuente: Ospina Zapata (2015)

#### 6.1.1.1.8. El nuevo Ferrocarril de Antioquia

En capítulos anteriores se habló de lo importante que fue el Ferrocarril de Antioquia para el desarrollo económico de Antioquia años atrás y que este motor económico fue perdiendo fuerza en el tiempo debido a las diferentes políticas de Estado y al contexto socioeconómico del momento. En la actualidad existe una iniciativa que con el paso de los meses va tomando forma para hacerse realidad. Pues bien, se trata de un proyecto con características de APP, que tiene como miembros de la sociedad promotora a la Gobernación de Antioquia, al Instituto para el Desarrollo de Antioquia (IDEA), al Área Metropolitana y al Metro de Medellín y que pretende recuperar al importante Ferrocarril de Antioquia para el transporte de pasajeros, carga y residuos. El trazado del proyecto tendrá una extensión aproximada de 80 km y conectará a los municipios de Caldas y Barbosa. El proyecto tendrá una

inversión estimada de \$1,8 billones y se prevé que las obras empezarán a finales del primer semestre de 2018.

## **6.1.2. Estudio de mercado**

### **6.1.2.1. Estructura del mercado en el sector transporte**

Para el desarrollo de un sistema férreo entre Necoclí y Medellín es importante tener una visión clara que permita, de acuerdo con un análisis del sector del transporte en Colombia, tomar decisiones que conduzcan un éxito en cuanto al desarrollo de dicho sistema, puesto que dicho sector juega un papel muy importante y representativo en la consolidación de procesos administrativos y de competitividad en el país, dado que se está evidenciando una transformación de los diferentes sistemas de transporte gracias al incremento de la población en la zona urbana de los municipios y que permitan conectar las diferentes actividades sociales, culturales y económicas de una región con otra con mayor facilidad.

Cabe destacar que este sector constituye el principal medio, si se tiene como referencia el transporte marítimo para el comercio internacional que se vive en la actualidad, con lo que se pone en evidencia la necesidad de realizar obras civiles o adecuaciones logísticas que permitan dar cubrimiento a la alta movilización de mercancía, a lo que se suma la alta demanda de pasajeros que se mencionó en la región antioqueña, de manera más específica del Urabá al centro del país, al analizar para el efecto los diferentes medios de transporte que puedan prestar un servicio multimodal.

Dicho lo anterior, el sector del transporte tiene una importancia significativa en la participación del crecimiento de un país, lo que implica poner especial atención a la formulación, la evaluación y la presentación de proyectos que tengan como objeto el desarrollo de sistemas férreos mixtos o multimodales, que aporten al sector mayor

competitividad comercial y beneficios a los usuarios de los referidos sistemas, así como también un valor agregado a los nuevos puertos que se construirán en el Urabá antioqueño.

#### **6.1.2.2. Definición de la idea básica, los objetivos y la estrategia**

El objetivo del proyecto sistema férreo Medellín-Necoclí es conectar, de manera eficiente, en términos de tiempo, costo y seguridad, a los principales centros productivos del país, ubicados en el centro de Colombia, con las terminales marítimas del Urabá antioqueño. También se pretende mejorar las condiciones, en cuanto a confort, costo y seguridad, del transporte de pasajeros entre el centro del país y la costa Caribe. Se construirá una línea férrea que inicia en Medellín y que finalizará en Necoclí.

El sistema férreo Medellín-Necoclí, a través de un operador logístico, prestará el servicio de transporte de carga, al tener como premisa la compatibilidad del modo férreo con otros medios de transporte. Por tal razón, las características de infraestructura del sistema están especificadas para facilitar el trasbordo de mercancías y materiales de un medio a otro de manera ágil y económica. Tendrá la posibilidad de transportar todo tipo de carga y en diferentes tipos de embalaje como a granel, contenedores y estibas. La línea férrea tendrá sus estaciones principales en Medellín y en la costa del golfo de Urabá (Turbo y Necoclí). También tendrá algunas estaciones intermedias en las que se aprovechará la longitud de la vía para abastecer y saturar el sistema. En las estaciones costeras se tendrá la infraestructura idónea para conectar el sistema férreo con las terminales marítimas. Los puertos serán los principales *off-takers* del modelo de negocio. Además, el sistema tendrá especificaciones aptas para el transporte de personas tales como vagones para pasajeros, estaciones adecuadas para el flujo de personas, en especial aquellas con movilidad reducida, servicios alimentarios y sanitarios y



primeros auxilios entre otras. Todo ello se hará con el fin de mejorar la competitividad de los sectores productivos en los mercados locales e internacionales, debido a que los costos del transporte de mercancía a través de este sistema se reducirán de manera significativa con respecto a los costos actuales de transporte.

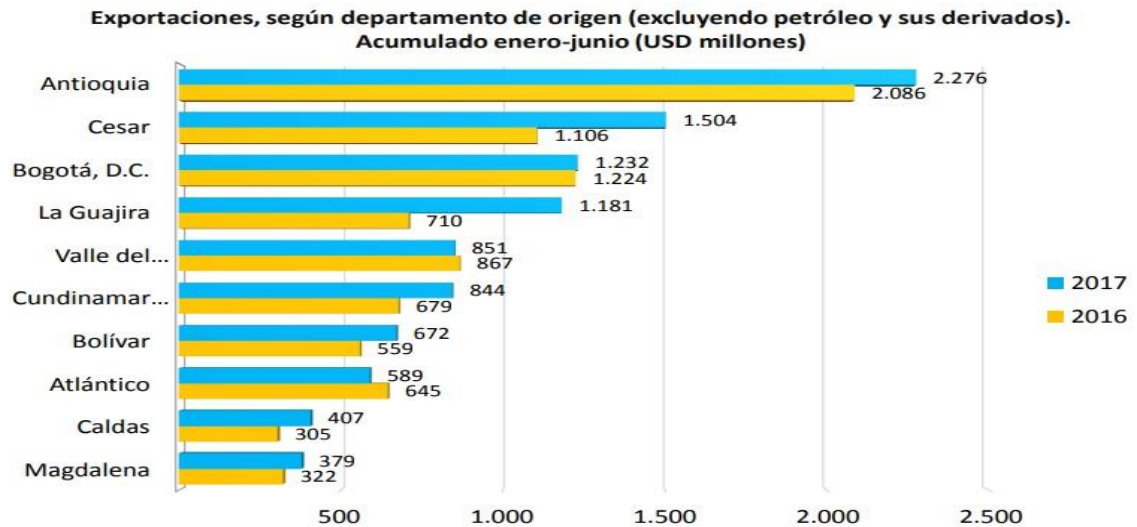
### **6.1.2.3. Demanda y mercado**

#### **6.1.2.3.1. Centros de producción en Colombia**

Es indudable que los sectores productivos juegan un papel fundamental en la economía colombiana, y que su crecimiento, que en los últimos años ha ido en aumento; según Raúl Ávila Forero (2016), el sector fabril, en conjunto con el agrícola, se ha comportado como unos de los principales motores de desarrollo económico del último año y ha tomado el relevo de la posición boyante, con la que gozaba, en otros tiempos, el sector minero-energético de la economía colombiana. Al hablar del crecimiento manufacturero, Ávila Forero (2016) comenta que la industria colombiana, durante los últimos diez meses, se ha mantenido en terreno positivo, en los que ha jalonado al PIB y ha mostrado una dinámica de crecimiento positiva. De las cifras entregadas por el DANE (2017), se destaca que las fuentes del crecimiento de la economía nacional se han venido redistribuyendo y han tomado un mayor protagonismo el sector industrial. Según 'Crecimiento del sector manufacturero para este año comienza a ser visto con reservas' (2017), la producción real de la industria de enero a diciembre de 2016 registró una variación de 3,5% frente a la registrada en 2015, que fue de 1,8%. El valor obtenido en 2016 fue el resultado más alto desde 2012. En dicha fuente se destaca un desempeño positivo de la refinación de petróleo, así como de los sectores de bebidas, productos de metal, molinería, fabricación de jabones y detergentes y también de los productos de panadería.

Colombia es un país que, a diferencia de otras economías de la región, se caracteriza porque sus centros productivos se encuentran en la parte central del país, de manera específica en la región andina. Esta característica de la logística económica colombiana repercute en forma directa en la competitividad de la producción, con respecto a otros países, puesto que los costos y los tiempos de transporte dificultan la eficiencia en la conectividad con los puertos marítimos, para el comercio internacional y con el resto de ciudades del país. “Los diagnósticos insisten en que nuestra base industrial es baja en productividad, escasa en innovación y lejana a la competitividad. Colombia necesita reducir su costo país en infraestructura, transporte interno, trámites y demás” (Las 35 más, 2014); por tal razón el país debe buscar alternativas o desarrollar proyectos para aumentar la eficiencia en toda la cadena de valor que ofrece un producto; la logística del transporte, por ejemplo, es uno de los aspectos fundamentales que se deben optimizar. A pesar de las dificultades logísticas, dichas zonas (centro de Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca) cuentan con un buen desarrollo industrial en materia de infraestructura y tecnología, a lo que se suman aspectos culturales y los diferentes pisos térmicos que ofrecen diversos climas y relieves, que potencializan la producción y la hacen sobresaliente en comparación con otras zonas productivas del mapa de Colombia.

Ilustración 18 Exportaciones, según departamento de origen en el primer semestre del año



Fuente: Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (2017)

En el centro del país se encuentran ubicadas algunas fábricas y centrales de producción que lideran en aspectos tecnológicos y de innovación, y que impulsan el sector productivo de la economía nacional. Por nombrar algunas, en Cundinamarca están: la planta de General Motors (Bogotá D. C.) ,que fabrica piezas automotrices para la exportación y ensambla automóviles; la de cosméticos de la multinacional Henkel, que es la más eficiente de la firma en el mundo, según (Las 35 más, 2014); al norte de Bogotá, en Tenjo, se encuentran la fábrica de transformadores de Siemens y la planta de productos cosméticos de Yanbal); en Mosquera está ubicada una de las tres plantas de fabricación de alimento para animales de Solla; la planta de Bavaria, ubicada en Tocancipá, es la más grande del grupo en América Latina, según la misma fuente; la reconocida multinacional, 3M, también tiene uno de sus centros de producción en este departamento (municipio de Siberia). En Antioquia se encuentran algunas como las de Pintuco (Rionegro), del Grupo Orbis; de Solla (Bello); de Enka (Girardota); O-Tek, del Grupo Orbis, tiene su planta en Barbosa;

Haceb (Copacabana); Imusa (Rionegro); en Entreríos se encuentra una de las plantas más moderna de producción de yogurt de América Latina, perteneciente a Alpina, y la de Kimberly en Barbosa. En el departamento del Valle del Cauca se pueden destacar las siguientes plantas de producción: Nestlé, en Bugalagrande; Unilever (Palmira); Solla (Buga), y Colombina (La Paila).

#### **6.1.2.3.2. Terminales marítimas en el golfo de Urabá**

El golfo de Urabá es un lugar estratégico para el comercio internacional puesto que su ubicación geográfica es privilegiada en comparación con la de otras zonas costeras colombianas para dicha finalidad. Su cercanía con el Canal de Panamá, su proximidad con los centros de producción y consumo del país y las proyecciones de desarrollo industrial que la zona tiene en los próximos años, debido a la construcción de las vías de alta generación (4G), son algunos de los motivos por los cuales en esta zona se están desarrollando iniciativas de inversión privada, de gran magnitud, que impactarán de manera directa y positiva el desarrollo social y económico de la región. De manera más concreta, en la actualidad se están desarrollando tres megaproyectos de infraestructura portuaria con recursos privados sobre las costas del golfo de Urabá. Dos de los proyectos están ubicados en el municipio de Turbo: Puerto Antioquia y Puerto Pisisí. El tercero de ellos, Darién International Port, está situado en la cabecera norte de Necoclí. En la ilustración 19 se muestran las ubicaciones de las futuras terminales portuarias sobre el golfo de Urabá. Estos puertos llevan años de investigación y de análisis de alternativas y los estudios de factibilidad han arrojado resultados muy atractivos para los inversionistas; además, el impacto ambiental tiene un balance positivo puesto que promete grandes oportunidades para desarrollo social y económico de la región; de igual manera, auguran grandes cambios en la dinámica económica del país puesto que los

sectores productivos se volverán más competitivos debido a la disminución de costos logísticos.

Ilustración 19 Localización de futuros puertos en el golfo de Urabá



Fuente: elaboración propia

#### 6.1.2.3.2.1. Puerto Antioquia

Estará ubicado en el corregimiento de Nueva Colonia (Turbo), sobre la desembocadura del río León. El muelle en sus dos fases tendrá una longitud total de 650 m y 200 m de ancho, con capacidad para recibir buques post-Panamax (346 m de eslora y 13.500 *twenty-foot equivalent units* (TEU); según la entidad promotora del proyecto, PIO S. A. S. (2017), esta área tendrá la capacidad de albergar contenedores secos de 4.500 TEU y refrigerados de 1.300 TEU. El área en tierra tendrá 58 hectareas para bodegas y movilidad y las instalaciones tendrán la capacidad de almacenar y realizar actividades logísticas para carga de tipos a granel, general, contenedores y vehículos. El puerto en su primera fase de operación, según cifras reveladas por Óscar Isaza (2016), presidente de PIO S. A. S., movilizará una carga anual de 7.000.000 de toneladas y 1.200.000 TEU.

El proyecto ya ha cumplido con toda la fase de otorgamiento de concesión, licenciamiento ambiental y ahora la selección del constructor preferido para la etapa

de ingeniería, contratación y construcción (EPC), significa que el sueño de tener un Puerto en Urabá es una realidad (Óscar Isaza (2016).

El proyecto que tiene una inversión que ronda los USD600 millones inició su construcción a finales del 2017 y será puesto en operación, en forma parcial, a finales de 2019. En la ilustración 20 se muestran las distancias entre los centros de producción y los principales puertos del país (con inclusión de la futura terminal marítima de Puerto Antioquia).

Ilustración 20 Distancias entre los centros de producción de Colombia y los principales puertos

Centro de Producción	DISTANCIAS (km)				
	*Turbo (Nueva colonia)	Cartagena	B/quilla	Sta Marta	B/ventura
Bogotá	739*	1.101	1095	970	593
Medellín	340*	643	708	858	465
Cali	779*	1012	1130	1218	214
Bucaramanga	Equidistante	Equidistante	581	546	863
Manizales	534*	837	863	962	302
Pereira	555*	858	884	983	281
Armenia	607*	910	1082	1051	225
Cúcuta	Equidistante	Equidistante	676	673	1056

Fuente: PIO S. A. S. (2017)

### 6.1.2.3.2.2. Puerto Pisisí

El 12 de mayo de 2017 se realizó en Turbo (Antioquia) el acto simbólico de inicio de construcción de Puerto Pisisí a través de la colocación de la primera piedra del puerto, ceremonia que tenía como objetivo festejar el otorgamiento de la licencia ambiental y el cierre financiero del proyecto. Esta terminal marítima estará ubicada en la bahía de Turbo (golfo de Urabá), de manera específica en la vereda Casanova. Según la Sociedad Portuaria de Turbo Pisisí (Puerto Turbo Pisisí S. A., 2017), el proyecto tendrá un muelle de 760 m de longitud y 50 m de ancho. Este puerto multipropósito tendrá áreas para almacenar un número de 8.360 *forty-foot equivalent units* (FEU), 8.756 TEU y 1858 contenedores refrigerados. Tendrá silos

para almacenar 600 m<sup>3</sup> de carga a granel, 800 m<sup>2</sup> para carga suelta y un patio de 80.000 m<sup>2</sup> para acopiar carga extradimensionada, vehículos y maquinaria. En la tabla 1 se muestran los volúmenes anuales por tipo de carga que moverá el puerto. El proyecto tendrá una inversión de USD470 millones y la primera fase de construcción se dará entre noviembre de 2017 y abril de 2019, afirmó Teófilo Lemos (2017), gerente de la sociedad portuaria. El puerto entrará a operar de manera parcial cuando finalice la primera fase, que tendrá una capacidad de movilizar 450.000 TEU al año y 160.000 vehículos. En 2024 se construirá una segunda fase, que tendrá la capacidad de recibir barcos post-Panamax de 14.000 TEU puesto que se hará un dragado en el canal de acceso para lograr una profundidad de 17 m. En la tabla 2 se muestra la capacidad de servicio por tipología de navío.

Tabla 1 Operación anual de Puerto Pisisí

Tipo de carga	Unidad	Cantidad
Contenedores	TEU	825.000
Carga general	Tonelada	620.000
Vehículos	Unidad	160.000

Fuente: elaboración propia con base en Puerto Turbo Pisisí (2017)

Tabla 2 Capacidad de servicio de buques en Puerto Pisisí

Tipo de buque	Unidad	Capacidad máxima
Portacontenedores	TEU	14.000
Carga General	DWT	50.000
Granelero	DWT	50.000
Tanquero	DWT	50.000

Fuente: elaboración propia con base en Puerto Turbo Pisisí (2017)

### **6.1.2.3.2.3. Darién International Port**

Al norte de la cabecera municipal de Necoclí, en el sector de Buenavista, se desarrollará la tercera de las iniciativas portuarias sobre el golfo de Urabá, Darien International Port. Esta iniciativa privada está siendo promovida y será ejecutada por Constructora Conconcreto, compañía líder en Colombia, por más de 50 años, en construcción de proyectos de infraestructura. El puerto contará con un muelle, para barcos post-Panamax, en la línea costera y zonas de almacenamiento en tierra; tendrá la capacidad de manejar tres tipos de carga: contenedores, carga suelta y a granel seco. Será construido en tres fases; en la primera se construirá un muelle de 635 m de largo, 30 hectáreas para contenedores y las instalaciones necesarias para operar. Tendrá los servicios básicos como enfermería, estación de bomberos; servicios administrativos y puestos de control (DIAN, antinarcóticos e ICA, entre otros). Esta fase está prevista para finalizarse en 2020. La segunda fase, con miras a iniciarse en 2030, contempla la construcción de 335 m más de posición de atraque, nuevas áreas de almacenamiento a granel e instalaciones administrativas adicionales. La fase 3, pensada para iniciarse en 2040, añadirá al muelle del puerto 450 m más y dejará una reserva de 250 m para futuras expansiones. La fase 1 tendrá una inversión estimada de USD453.406,465; la segunda USD292.426.875 y la tercera USD273.470.375, es decir, un total de USD1.019.303.715, según cifras reveladas por Constructora Conconcreto, Grupo Elemental, Moffatt & Nichol y Exponencial (2016).

### **6.1.2.4. Concepto de comercialización, pronóstico de ventas y presupuesto de comercialización**

Del comportamiento productivo y constructivo que se ha venido evidenciando en el transcurrir de los últimos años se logra definir que, gracias a las ventajas competitivas que posee el país y, de manera más específica, las de la zona del Urabá antioqueño, ha logrado mantenerse estable el crecimiento en cuanto a su



comercio internacional a través de sus exportaciones e importaciones. Al tener en cuenta lo antes mencionado es de suma importancia tomar en consideración una reestructuración en lo referente a sistemas de transporte y, modo más exacto, a los sistemas férreos para así lograr con ello un transporte más eficiente, de mayor calidad y a más bajo costo, que aporte variaciones con tendencia positiva en los mercados nacional e internacional.

Según el Ministerio de Transporte, por las vías férreas nacionales se movilizaron 48 millones de toneladas en carga (47,7 millones correspondieron a carbón y 230 toneladas a otros productos) (Así se adelantan las obras ferroviarias en el país 2016), lo que evidencia la importancia de desarrollar sistemas férreos en Colombia.

Con base en lo anterior, con una visión planificadora y al tener en cuenta la construcción de los nuevos puertos que se llevaran a cabo en el Urabá antioqueño (Darién International Port, Puerto Antioquia y Puerto Pisisí), lo que evidencia la capacidad instalada que tendrá dicha zona para atender tanto las exportaciones como las importaciones, se tiende con ello a un crecimiento comercial notable. Se espera que la construcción de los tres puertos mencionados traiga consigo ingresos anuales atractivos para el país, pero, según Davivienda, las exportaciones en el año 2017 alcanzarían un crecimiento de un 2,3% gracias a la dinámica de las exportaciones no tradicionales, que son productos que se exportan con poca frecuencia, y en cuanto a las importaciones se puede considerar que tendrían una tendencia decreciente de 1,5% (Davivienda, 2016), lo que muestra que estas inversiones en materia de puertos no se tuvieron en cuenta en el momento de dicho análisis.

Los argumentos antes expuestos permiten definir, como objetivo principal en la construcción de un sistema férreo, el de mitigar la necesidad que se evidencia, y que traerá consigo la construcción de los puertos mencionados en este estudio, del transporte de carga desde dicha zona del país (Urabá) hacia el centro del país y

viceversa y así lograr competir, en el sentido comercial, con los demás medios de transporte que ayudan a la comunicación entre regiones a un menor costo y con mayor eficiencia. La localización del sistema férreo en Necoclí se proyecta con base en los beneficios que trae su ubicación estratégica y la fácil comunicación con los mercados extranjeros para así abastecer la demanda que traerán consigo los puertos que se proyecta construir allí.

En cuanto a la demanda y oferta se refiere, uno de los principales objetivos de un país es suministrar a los ciudadanos los servicios públicos, que para este caso en específico se trata del transporte público y privado. En su prestación existen dos actores importantes que deben ser tenidos en cuenta a la hora de realizar un análisis de demanda y oferta y que son los que desean trasladar carga o pasajeros de un lugar a otro (demandantes) y los que los transportan (oferentes).

Con el fin de analizar la oferta y la demanda en el comportamiento del mercado se deben tener presentes las variables que de manera directa o indirecta afectan el curso de dicho sector o mercado; dichas variables son los generadores de carga, la competencia vista desde la perspectiva de los demás medios de comunicación comercial y los costos de dicho servicio.

La necesidad que traerá consigo la construcción de los tres puertos que se pretende construir en el Urabá antioqueño es la clara insuficiencia de movilización de carga y de pasajeros.

Tabla 3 Carga nacional por modo de transporte

AÑO	TERRESTRE	FERROVIARIO			FLUVIAL	AEREO	CAROTAF	TOTAL
		Concesiones (sin incluir carbón)	Carbón	Total				
2003	81.014	ND	41.097	41.097	3.180	177	597	114.184
2003	99.782	37	42.744	42.781	3.725	132	928	147.348
2004	117.507	217	45.865	46.082	4.211	120	588	168.707
2005	139.646	308	48.919	49.227	4.863	135	400	194.271
2006	155.196	314	49.394	49.708	4.025	138	509	209.576
2007	183.126	375	52.829	53.204	4.563	137	454	241.484
2008	160.714	226	58.226	58.452	4.052	122	272	223.634
2009	173.558	254	59.144	59.398	4.070	109	364	237.499
2010	181.021	366	66.659	67.025	3.691	119	353	252.209
2011	191.701	204	74.350	74.554	3.650	124	646	270.029
2012	199.369	20	76.780	76.800	3.474	127	388	200.150
2013	220.309	97	76.684	76.781	2.968	149	774	300.980
2014	ND	174	42.755	42.907	2.858	163	601	46.528
2015	ND	230	47.705	47.935	3.524	179	969	52.607
2016	ND	643,1	54.650	55.293	3.938	185	1.786	61.202

Fuente: Ministerio de Transporte (2016a)

La tabla 3 muestra que los movimientos de carga nacional en su mayoría se hacen por vía terrestre, lo que indica que todos los casos un aumento año tras año en sus cálculos; en cuanto a los sistemas férreos, que es el objetivo de esta investigación, se nota que sus movimientos tiene altos y bajos de un año a otro y también se resalta con claridad que el producto que más se comercializa vía línea férrea es el carbón, lo que, si se suman los futuros puertos, habrá una fuerte demanda para la que en la actualidad no se tiene la suficiente estructura vial o férrea para suplirla de la manera óptima y adecuada, por un lado, mientras que por el otro se puede notar en la siguiente tabla (Ministerio de Transporte, 2016a) que también se evidencia una tendencia creciente en el número de pasajeros transportados por vías férreas, como se puede ver en la tabla 4, por lo que se podría pensar que la solución a esta demanda de mercancía y pasajeros sea un sistema férreo multimodal.

Tabla 4 Movimiento de pasajeros por modo de transporte

AÑO	PASAJEROS NACIONALES						
	TERRESTRE*	AÉREO			FLUVIAL	FERROVIARIO	TOTAL
		Aerotaxis y Regional	Empresas Regulares	SUBTOTAL			
2002	99.570.498	630.243	7.731.586	8.361.829	3.342.675	36.695	111.311.697
2003	120.201.516	547.842	7.439.107	7.986.949	4.148.706	17.363	132.354.534
2004	128.893.186	483.467	7.690.762	8.174.229	3.694.290	49.400	140.811.105
2005	156.568.326	533.883	7.756.875	8.290.758	3.789.419	126.219	168.774.722
2006	164.118.093	537.124	8.342.928	8.880.052	3.587.070	153.470	176.738.685
2007	172.127.092	536.144	8.771.998	9.308.142	3.310.124	181.390	184.926.748
2008	168.021.219	574.975	8.984.165	9.559.140	3.660.380	250.798	181.491.537
2009	177.855.357	523.877	10.156.884	10.680.761	4.095.702	165.709	192.797.529
2010	175.260.455	725.938	13.235.146	13.961.084	3.825.556	183.942	193.231.037
2011	184.958.703	821.079	13.807.682	14.628.761	4.025.265	227.075	203.839.804
2012	170.404.280	839.276	16.104.117	16.943.393	2.337.585	208.083	189.893.341
2013	179.915.072	496.956	19.257.480	19.754.436	2.476.500	274.244	202.420.252
2014	187.896.491	553.001	20.447.857	21.000.858	2.264.627	464.458	211.626.434
2015	188.836.000	407.074	22.709.266	23.116.340	2.460.460	458.619	214.871.419
2016	189.953.909	369.445	23.598.376	23.967.821	2.486.300	479.665	216.887.695

Fuente: Ministerio de Transporte (2016a)

La oferta de diferentes sistemas de transporte en el Urabá antioqueño es muy limitada puesto que en su mayoría es por carretera y a partir de la proyección de la construcción de los nuevos tres puertos en el Urabá es claro que la demanda de movilizar mercancías no posee la suficiente oferta de sistemas de transporte que ayuden a una comunicación comercial más eficiente y a menor costo.

Tabla 5 Número de unidades de transporte por modos

AÑO	TERRESTRE	FERROVIARIO		FLUVIAL		MARÍTIMO	AÉREO	
		Locomotoras	Vagones	Embarcaciones fluviales mayores				
	Vehículos			Remolcadores	Botes	Barcos	Toneladas de Registro Bruto - TRB	Aeronaves
2002	3.207.316	17	687	210	777	25	176.913	1.696
2003	3.335.128	65	1.667	210	777	37	117.611	1.232
2004	3.702.086	50	749	210	777	37	117.611	1.507
2005	4.016.462	40	749	N.D.	N.D.	38	47.966	ND
2006	4.677.451	40	749	N.D.	N.D.	41	50.166	1.679
2007	5.300.769	40	749	N.D.	N.D.	42	50.807	1.691
2008	5.392.573	40	749	N.D.	N.D.	44	53.415	1.691
2009	5.894.539	77	5.820	N.D.	N.D.	46	54.490	ND
2010	6.376.764	77	5.820	249	652	35	24.851	2.033
2011	7.220.219	77	5.820	257	694	46	59.727	2.144
2012	9.156.898	57	3.104	269	733	38	9.115	2.266
2013	9.737.987	94	3.435	269	733	94	82.424	2.398
2014	11.108.298	94	3.227	179	507	92	75.399	2.496
2015	12.119.782	108	3.678	173	557	61	39.681	2.895
2016	12.951.222	122	3.747	175	561	36	11.521	2.633

Fuente: Ministerio de Transporte (2016a)

La tabla 6 muestra que los oferentes en sistemas de transporte que más tienen importancia en el Urabá antioqueño son las vías terrestres y las férreas, lo que brinda la oportunidad de realizar estudios en diferentes escenarios para suplir la demanda de mercancía y pasajeros de acuerdo con la estrategia global de construir un sistema férreo multimodal entre Necoclí y Medellín y así tener en cuenta las proyecciones realizadas por el DANE, expresadas en Cámara de Comercio de Urabá (2013), en las que se refleja que para 2020 habrá en la zona 748 mil habitantes, que se suman a la demanda de transporte en un futuro en dicha zona.

Tabla 6 Estimación del número de habitantes de Urabá en 2020

Año	Urabá		Antioquia	
	Cabecera	Resto	Cabecera	Resto
2005	287.247	222.162	4.324.035	1.358.241
2010	316.534	243.734	4.688.529	1.377.317
<b>2012</b>	<b>357.455</b>	<b>253.391</b>	<b>4.834.074</b>	<b>1.387.743</b>
2015	390.163	269.103	5.019.966	1.406.241
2020	448.908	299.204	5.399.916	1.445.141

Fuente: Cámara de Comercio de Urabá (2013)

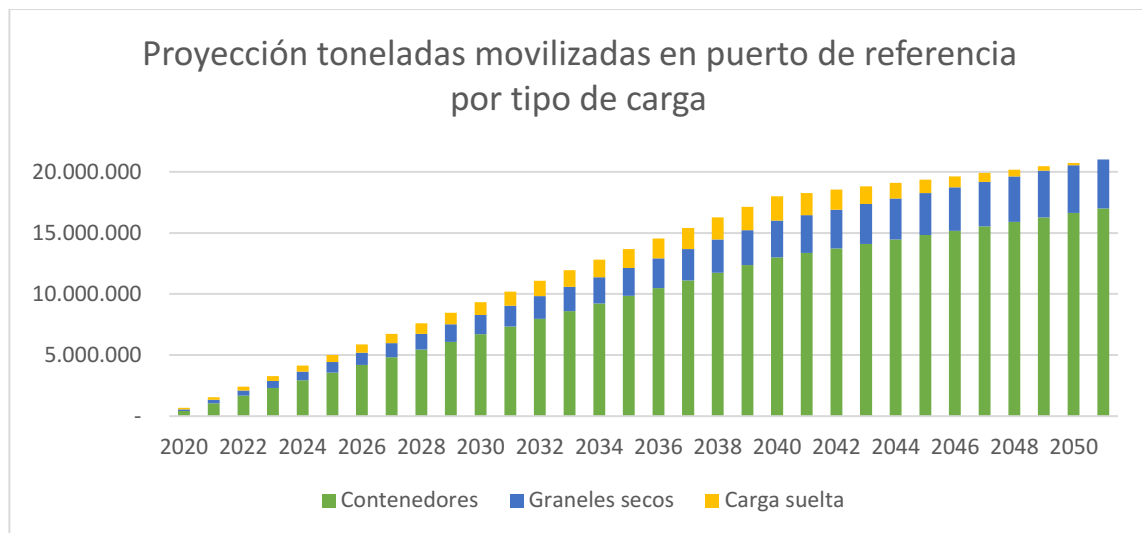
#### 6.1.2.4.1. Proyecciones de movilización de carga

El fin de desarrollar un sistema férreo entre Medellín y Necoclí es satisfacer la necesidad de movilizar en forma eficiente las mercancías entre las zonas costeras y los principales centros de consumo y producción ubicados en el centro del país. De esta manera, la demanda que tendrá el sistema férreo propuesto estará ligada de manera directamente proporcional con la movilización de carga que se tenga en las terminales marítimas del golfo de Urabá.

En los estudios realizados por firmas consultoras internacionales, expertas en temas de construcción de infraestructura, movilidad de carga e investigaciones de mercado se muestran las proyecciones de carga movilizadas que tendrá uno de los

puertos del Golfo de Urabá en un plazo de 30 años y se discriminan las cantidades de toneladas movilizadas por tipología de carga.

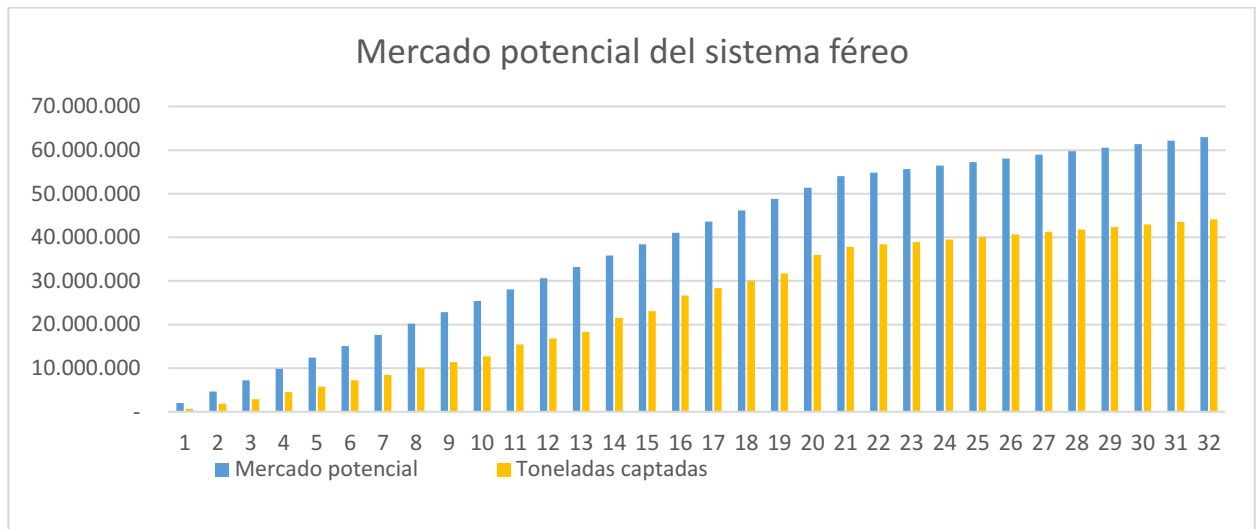
Ilustración 21 Proyección del número de toneladas movilizadas por tipo de carga



Fuente: Issue Magazine (2016)

El comportamiento, en términos de toneladas por año, de la proyección anterior (ilustración 21), se tomará como modelo para estimar el mercado potencial que tendrá el sistema férreo. De esta manera, al tener en cuenta esta referencia y los volúmenes de carga estimados por los demás proyectos portuarios de la zona, en la ilustración 22 se muestra el mercado potencial del sistema férreo Medellín-Necoclí. En la misma figura se ofrece captación del mercado. En la estructuración financiera se pretende que, al iniciar la operación del proyecto, se capte un 35% del mercado, lo que se logrará a través de los *off-take agreements* que se hagan. Se pretende que en los años 8 y 20 de operación se capte el 50% y el 70%, en su orden, del total del mercado potencial.

Ilustración 22 Mercado potencial del sistema férreo



Fuente: elaboración propia con base en Issue Magazine (2016)

Nota muy importante: las proyecciones del mercado potencial de los puertos se efectuaron al tener en cuenta los costos logísticos a partir del modo carretero, lo que quiere decir que cuando entre en operación el sistema férreo entre Medellín y el Urabá antioqueño los costos de transporte entre estos los se disminuirán, lo que hará aún más llamativa para los usuarios la posibilidad de movilizar sus cargas por los puertos del golfo de Urabá, en lugar de los actuales de la zona norte de Colombia y, por ende, el mercado potencial y la cantidad de toneladas captadas serán aún mayores.

#### 6.1.2.4.2. Presupuesto de comercialización

Por las razones antes expuestas es claro para todos que, en la actualidad, las cargas de participación del transporte intermodal en Colombia están dirigidas hacia el modo carretero; de esta manera este medio de transporte fue el punto de referencia para estimar y ajustar los costos de comercialización del servicio de

transporte por modo férreo, en el que deberá haber beneficios, entre otros, de tipo económico que incentiven a los usuarios a elegir este medio de transporte en lugar de otro.

Costos de transporte del modo carretero: en la tabla 7 se consolidan los costos de transporte del modo carretero y se analizan las rutas que podrían ser canalizadas a través del sistema férreo (corredores viales entre el centro del país y los puertos del norte de Colombia) y también las rutas que podrían alimentar al tren (si se tiene a Medellín como lugar de trasbordo entre modos de transporte). Los cálculos de los costos se tomaron con precios de diciembre de 2016 a través de la plataforma Sistema de información de costos eficientes para el transporte automotor de carga (SICE-TAC) del Ministerio de Transporte (2016b). En este cuadro se muestra el indicador costo de una tonelada movilizada a través de un kilómetro recorrido, que sirvió para comprar los costos con respecto a los del sistema férreo.

Tabla 7 Costos de transporte del modo carretero

Ruta		Distancia (km)	Camión rígido de 2 ejes (9 toneladas)	Camión rígido de 3 ejes (16 toneladas)	Tractocamión (34 toneladas)
			\$/ton-km (USD)	\$/ton-km (USD)	\$/ton-km (USD)
Medellín	Cartagena	627,99	0,1271	0,0798	0,0618
Medellín	Barranquilla	672,5	0,1252	0,0788	0,0605
Medellín	Santa Marta	831,13	0,1167	0,0743	0,0562
Medellín	Bogotá	350	0,1420	0,0898	0,0709
Medellín	Cali	420,81	0,1431	0,0909	0,0664
Bogotá	Cartagena	977,99	0,1083	0,0693	0,0543
Bogotá	Barranquilla	984,18	0,1117	0,0714	0,0535
Bogotá	Santa Marta	940,18	0,1118	0,0714	0,0532
Bogotá	Cali	467,74	0,1348	0,0867	0,0645
Cali	Cartagena	1061,8	0,1184	0,0749	0,0566
Cali	Barranquilla	1106,31	0,1174	0,1188	0,0559
Cali	Santa Marta	1200,56	0,1084	0,1093	0,0514

Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Transporte (2016b)



De los costos de cada ruta, presentados en la tabla anterior, se puede sacar un promedio del costo por cada tonelada movilizadora, discriminada por tipo de vehículo de carga. Del informe anual del Ministerio de Transporte (2016a) se extrajo la participación de cada tipo de vehículo del modo carretero, en la que los camiones de dos y tres ejes (nueve y 16 toneladas, en su orden) tuvieron una participación del 81% del parque automotor destinado para el transporte de carga en Colombia. Los tractocamiones (34 toneladas) tienen una participación del 19% del total de vehículos. En este orden de ideas, se puede obtener un ponderado de los costos de movilización de una tonelada por cada kilómetro al tener en cuenta los costos de transporte y la participación de cada tipo de vehículo. Esta cifra fue la referencia para estimar los costos de transporte en Colombia entre los principales centros productivos y los puertos de la zona norte colombiana a través del modo carretero Ver tabla 8.

Tabla 8 Ponderación de costos de transporte carretero

<b>Ponderado</b>	<b>0,095457145</b>	<b>USD/tonelada-km</b>	<b>CARRETERO</b>
------------------	--------------------	------------------------	------------------

Fuente: elaboración propia

Precio de comercialización del sistema de transporte férreo: las tarifas de movilización de carga a través del sistema férreo deberán permitir que el costo total de transporte de carga entre los principales centros de producción y consumo (ubicados en el centro del país) hasta los puertos del golfo de Urabá por medio del transporte intermodal (carretero y férreo) o netamente férreo, sea por lo menos un 35% más bajo que el costo de transporte a través del modo carretero exclusivamente. En otras palabras, si un comerciante desea movilizar su carga desde Bogotá hasta Puerto Pisisí (golfo de Urabá) podrá hacerlo movilizándolo la mercancía hasta Medellín en camión y hacer el trasbordo al modo férreo hasta llegar al puerto en Urabá. Los costos de transporte de esta manera deberán ser por lo

menos 35% más bajos en lugar de que el comerciante decidiera transportar su carga en camión, directamente desde Bogotá hasta el mismo puerto.

La tarifa, entonces, deberá ser capaz de cubrir los costos operativos (ver sección 6.2.1.1.2.1.), los servicios de la deuda, los impuestos, otros egresos y el retorno de los inversionistas. La tarifa se fijó en la evaluación financiera.

## **6.2. Actividades relativas a la inversión**

### **6.2.1. Estudio técnico**

Con el fin de dar apertura al transporte multimodal y brindar soporte a las iniciativas públicas y privadas relacionadas con los sistemas de transporte por vía férrea, en diciembre de 2013 el Ministerio de Transporte de Colombia publicó un manual de normativa férrea para el diseño, la construcción, la operación, el control y la seguridad con el que busca regular en aspectos técnicos a las empresas que pretendan especificar, ejecutar y operar proyectos de esta tipología de sistemas en el territorio colombiano. Para el presente proyecto, en el estudio técnico se acogieron la estructura y los lineamientos propuestos por el citado manual (Ministerio de Transporte, 2013), partes I y II, y se adaptó a las necesidades del proyecto, lo que se hizo con el fin de ajustar las especificaciones del sistema férreo a los requerimientos técnicos y, por ende, legales de la autoridad nacional, en materia de transporte férreo.

#### **6.2.1.1. Infraestructura férrea**

##### **6.2.1.1.1. Consideraciones de diseño**

###### **6.2.1.1.1.1. Especificaciones geométricas de trazado**

Los lineamientos propuestos en el citado manual por el Ministerio de Transporte (2013) en relación con la geometría del trazado se fundamentan en cinco criterios que definen las especificaciones por implementar en los diseños de la línea, que son: la velocidad de diseño, los criterios de seguridad frente al descarrilamiento, la orografía del terreno por la que discurre el trazado, el uso de la línea férrea (para mercancía, pasajeros o mixto), los gálibos y las aceleraciones en planta. Gálibo indica la distancia mínima de paso que deben permitir los túneles, puentes y demás estructuras y, por tanto, la cercanía máxima de postes, semáforos, señales y resto de objetos contiguos a la vía. Generalmente se usa también para marcar la medida máxima de los vagones y vehículos (Ferropedia, 2012).

Alineación de vía y radio de curvatura: el sistema férreo esta propuesto para ser de uso mixto, es decir, se utilizará para transportar personas y mercancía; de esta manera, una de las premisas para la operación del sistema es que los tiempos de desplazamiento entre Medellín y Necoclí se deben reducir en forma considerable en comparación con lo que toma transportar carga y pasajeros entre estos puntos por el sistema de carreteras (vías 4G). En este orden de ideas, la velocidad de diseño es un factor fundamental en la operación y en los aspectos técnicos de diseño y construcción.

El sistema tendrá una velocidad de diseño de 80 km/h, lo que repercute en las características de alineación de vía. Al ser un tren de alta velocidad, las pendientes juegan un papel fundamental en el desempeño de las locomotoras debido a los esfuerzos de tracción a que son sometidas. Se deberá reducir al máximo estos esfuerzos a través de la limitación del grado de inclinación de las vías con el fin de garantizar la eficiencia de las unidades móviles. De esta manera, el sistema deberá tener pendientes máximas de 25% en vías de tren tirado por locomotora.

El radio de curvatura se fijará para no perjudicar la explotación segura, al tener en cuenta la capacidad de rendimiento del tren en curvas, la velocidad de la operación y otros factores relevantes. Según la norma,

el radio de la curva (excluyendo una curva incidental a un desvío) de las vías ordinarias (incluyendo todas las líneas de trocha yárdica y de trocha internacional) no será menor que 160 m, y el radio de una curva incidental a un desvío no será menos que 100 m (Ministerio de Transporte, 2013).

Peralte: si se tienen en cuenta los criterios de seguridad y los de confort para los pasajeros, cada uno de los peraltes de la vía se diseñará con el fin de evitar el volcamiento de las unidades móviles, al tomar como base los gálibos, el radio de curvatura y la velocidad de circulación para resistir la fuerza centrífuga y la ejercida por el aire.

Trocha: en una vía férrea, el ancho de trocha es la distancia que existe entre las caras internas de los rieles y se mide 14 mm por debajo del plano de rodadura. La selección de esta medida es un aspecto de suma importancia para el diseño y la operación del sistema; por un lado, el ancho de trocha tiene gran incidencia en las especificaciones técnicas puesto que esta medida es uno de los parámetros que restringe la velocidad de diseño (y todos los aspectos que se ven afectados al variar la velocidad de diseño) y la capacidad de carga de los vagones, lo que al final converge en la cantidad de toneladas movilizadas por unidad de tiempo, es decir, la eficiencia del sistema que se materializa en el aspecto económico. Por el otro, esta medida repercute en la compatibilidad de la línea con el resto de la red férrea existente. Con excepción de las líneas férreas que conectan a El Cerrejón con el puerto (Guajira) y las líneas del Metro de Medellín, que están construidas con ancho de trocha estándar (1.435 mm), la totalidad de la red férrea colombiana está construida en trocha angosta o yardista (914 mm).

A pesar de la predominancia de la trocha de una yarda en la red férrea nacional, la vía propuesta en este estudio tendrá trocha estándar (trocha internacional de 1.435 mm) debido a que dicha distancia facilita cumplir las expectativas de operación del sistema en relación con la velocidad del servicio, la optimización de la carga, el confort y la seguridad de los pasajeros. El ancho de trocha de 1.434 mm permitiría (en caso de ser necesario) un empalme directo con las líneas del Metro de Medellín y también podría ser compatible con las locomotoras que circularán en las vías del proyecto que pretende reactivar el Ferrocarril de Antioquia en un par de años. La trocha estándar permite la posibilidad de empalmar vehículos diseñados para trocha de una yarda mediante la construcción de un tercer riel en la vía. Además, con el fin de lograr homogeneidad y compatibilidad de los futuros sistemas férreos y los existentes, el Ministerio de Transporte plantea estandarizar al ancho de trocha.

La trocha para líneas férreas de nueva construcción que forman parte de la Red Férrea Nacional será construida preferentemente en trocha estándar de 1.435 mm y, excepcionalmente y por causa justificada en trocha de 914.4 mm, según la decisión técnica que se determine. Sus parámetros característicos se determinarán y se justificarán en los proyectos particularizados realizados a tal efecto (Ministerio de Transporte, 2013).

#### Ilustración 23 Ancho de trocha



Fuente: Construcción propia

La Cámara Colombiana de la Infraestructura (2014) afirma que el peso máximo de carga por vagón en trocha angosta se reduce casi a la mitad en

comparación con la trocha estándar, lo que la hace menos eficiente en términos de número de toneladas/km; mientras un vagón de trocha estándar mueve en promedio 70 a 80 toneladas métricas, un vagón de trocha angosta mueve como máximo 40 toneladas métricas de carga.

Distancia entre ejes de vía: la seguridad de los pasajeros y de la carga es la prioridad para la operación del sistema; por esta razón,

la distancia entre los centros de la vía en una vía tangente será fijada para mantener la operación segura del vehículo eliminando la posibilidad de vehículos con oscilación vertical tocando o causando daño a un pasajero asomando por la ventana (Ministerio de Transporte, 2013).

Este aspecto es de gran relevancia en el estudio financiero del proyecto debido a que conservar unas distancias mínimas entre los centros de los ejes de la vía tiene grandes implicaciones en el presupuesto de construcción, puesto que al aumentar el ancho de la vía se incrementan los costos en forma considerable debido a que la variación se replica en toda la longitud del trazado. Con el fin de optimizar esta distancia en sección, se deberá hacer un análisis detallado de las zonas en las que se debe conservar un mínimo de distancia con el fin de garantizar la seguridad del sistema.

#### **6.2.1.1.1.2. Elementos de la superestructura ferroviaria**

Superestructura de la vía: el trazado de la vía tendrá unas características muy uniformes, con excepción de los lugares en los que se deba tener algún tipo de infraestructura diferente como túneles, puentes, viaductos, cruces en desnivel y empalmes, entre otros. Según el Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013), la superestructura típica contará con los siguientes elementos:

*Balasto*, Capa de material pétreo que reparte las cargas ferroviarias hacia el subbalasto. Se caracteriza por su espesor bajo durmiente en cada caso.

*Durmiente*, Elemento de forma prismática que proporciona estabilidad transversal al emparrillado de vía, garantiza la continuidad de la trocha y transmite cargas al balasto, pudiéndose constituir con madera, concreto o acero.

*Sistema de sujeción o fijación*, Conjunto formado por elemento rígido o semi elástico que proporciona la unión entre el riel y el durmiente y aporta elasticidad al conjunto.

*Carril o riel*, Elemento lineal de acero con una sección y densidad características por el que discurren las ruedas de los bogies con función de apoyo, guiado del material rodante y de conductor eléctrico, según el caso.

*Aparatos de vía*, Considerando como tales desvíos o cambiavías y aparatos de dilatación, en este caso, que permiten, como su nombre indica, que un vehículo pueda desviarse de una vía a otra y realizar otros tipos de maniobras, así como permitir la dilatación de los rieles llegados a un punto rígido de la línea (Ministerio de Transporte, 2013).

.

Los *bogies* son dispositivos giratorios dotados de dos o más ejes, cada uno con dos ruedas, sobre los que se apoya un vehículo ferroviario (Ferropedia, 2013).

Dimensionamiento de la superestructura de la vía: definir los aspectos en este apartado es de gran importancia, tanto para el estudio técnico como para la evaluación financiera, debido a que las características de la infraestructura del sistema férreo se repiten en la mayoría del trazado, lo que conduce de esta manera que la selección de estas características sea una de las variables que más incidencia tiene en el presupuesto de construcción. El Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013) recomienda la utilización de los valores mostrados en la tabla 9 para el dimensionamiento de la superestructura de la vía para un sistema con uso de transporte de pasajeros, en el que las especificaciones

están dadas en función del número de toneladas y la velocidad de paso por la línea. Para un uso mixto, es decir, transporte de carga y de pasajeros, el dimensionamiento de la superestructura de la vía se hará mediante una relación, que se explicará más adelante, con los valores de la tabla 9.

Tabla 9 Diseño de la superestructura de vía de líneas de viajeros en función de la velocidad y la carga sufrida

Velocidad máxima de diseño	Peso del riel, número de durmientes, y espesor de capa de balasto	Diseño - Número de toneladas de paso											
		Paso de toneladas mayor de 20 millones t/año			Paso de toneladas entre 10 y 20 millones t/año			Paso de toneladas entre 5 y 10 millones t/año			Paso de toneladas menor de 5 millones t/año		
Velocidad superior a 110 km/h	Peso del riel (kg/m)	50	60	50	50	60	50	50	60	50	50	60	50
	Nº durmientes cada 25 m	39	39	42	37	37	40	37	37	40	37	37	40
	Espesor de balasto bajo durmiente (mm)	300	250	250	250	200	200	250	200	200	250	200	200
Velocidad de 90-110 km/h	Peso del riel (kg/m)	50	60	50	50	60	50	37	40	37	37	40	37
	Nº durmientes cada 25 m	39	39	42	37	37	40	37	37	40	37	37	40
	Espesor de balasto bajo durmiente (mm)	250	200	200	250	200	200	250	200	200	250	200	200
Velocidad de 70-90 km/h	Peso del riel (kg/m)	50	60	50	50	60	50	37	40	37	30	37	30
	Nº durmientes cada 25 m	39	39	42	37	37	40	37	37	39	34	34	36
	Espesor de balasto bajo durmiente (mm)	250	200	200	250	200	200	200	170	170	200	170	170

Fuente: Ministerio de Transporte (2013)

Donde:

- Unidad de peso de riel: kg, unidad de grosor de lecho de balasto: mm
- El número de durmientes cuando se utiliza riel continuo soldado será el valor obtenido al restar 1 del valor en la tabla precedente.
- En el caso cuando la cama de vía sea de concreto, roca firme o un material con una capacidad portante equivalente el espesor del lecho de balasto no



tiene por qué adecuarse a lo señalado arriba (Ministerio de Transporte de Colombia, 2013).

Según el Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013), se utiliza la siguiente expresión para el diseño de las líneas de uso mixto:

$$q = 9 * \left( \frac{p}{2} + 0,00003861 * \frac{p * v^2}{2} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

- q = peso por metro lineal de riel en kg
- v = velocidad máxima de circulación en km/h
- p = carga por eje en t

Rieles: los rieles utilizados en este sistema férreo estarán normalizados por los lineamientos de la American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA); el Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013) sugiere la utilización de esta normatividad para implementar y dar mantenimiento a los rieles de las nuevas vías férreas. Se tomó un riel de referencia que será el perfil 115 RE: “Se trata de un carril de sección tipo T (*flat botom rails*) con una masa de 56,90 kg por metro, equivalente a 115 libras por yarda, de donde procede su denominación” (ArcelorMittal, 2017). Este perfil se ajusta a las características de los trenes, a la velocidad de diseño, al trazado de la vía y a los esfuerzos a que será sometido. Con las características de este elemento de base se presupuestó el costo de la superestructura férrea.

Puentes, túneles y elementos especiales: la topografía colombiana, en especial la de Antioquia, se caracteriza por tener un relieve muy pronunciado, puesto que en el departamento tienen presencia las cordilleras Occidental y Central, lo que implica

que el trazado de la línea férrea tenga que sortear las deformaciones montañosas; por lo tanto, se deberá considerar en el presupuesto la construcción de puentes, viaductos, túneles y estructuras de contención.

Obras de arte: corresponden a todos esos elementos destinados para captar, canalizar y drenar el agua superficial que interactuará con la vía. Este capítulo constructivo es fundamental a la hora de analizar costos y riesgos debido a que hacer un adecuado manejo del agua permitirá garantizar la estabilidad de la vía en el tiempo. Se debe poner especial atención en este rubro, puesto que la inversión adecuada reducirá costos en mantenimientos posteriores.

#### **6.2.1.1.1.3. Dimensionamiento de la sección transversal**

Sección transversal de la vía férrea: la sección transversal de una vía férrea se define como el perfil de las diferentes capas que componen el lecho de la vía y, según el Ministerio de Transporte (2013), pueden ser de naturaleza balasteada o no balasteada. La función de estas capas es transmitir las cargas del material rodante<sup>3</sup> al terreno natural, con el propósito de darle rigidez a la vía y mantenerla drenada con el fin de garantizar la estabilidad en el tiempo. La mayoría de la longitud de la vía del trazado del sistema férreo propuesto en este estudio será a cielo abierto y se cimentará en suelos que no hayan sido alterados por el hombre; de esta manera, el 90% de la estructura de la sección transversal será de vía balasteada.

De esta manera el Ministerio de Transporte (2013) enuncia las funciones de las capas en una vía balasteada:

---

<sup>3</sup> Conjunto de vehículos ferroviarios con o sin motor.

- Capa/s de forma: sus principales funciones son la regularización de la superficie para la disposición de subbalasto y la transmisión correcta de cargas hacia el terreno.
- Subbalasto: sus principales funciones son la mejora de capacidad de carga de la vía, a través de la modificación de su rigidez y mejora de la distribución de las cargas transmitidas, contribución a la mejora de la transmisión de cargas dinámicas, función de filtro entre capa de forma y balasto, protección de la plataforma frente a agua y hielo y evacuación rápida del agua superficial.
- Balasto: juega un papel clave en la estabilidad transversal y longitudinal de la vía, así como en la transmisión de cargas verticales (Ministerio de Transporte, 2013).

Las secciones no balasteadas pertenecerán a los lugares del trazado en los que las características del suelo o del uso de la línea (intercambios, patios de maniobra y puentes, entre otras posibilidades) obligan a que la vía se apoye sobre losas de concreto o perfiles metálicos.

Dimensionamiento de la sección transversal de la vía férrea: el espesor de las diferentes capas que componen la sección transversal de la vía estará especificado según diferentes variables como las características del suelo (su origen y su capacidad portante, entre otras), las condiciones climáticas, tipo de tráfico (número de toneladas por eje, velocidad de paso y tipo de uso) y la configuración de la vía (sección transversal del riel, espaciamiento entre durmientes y ancho de trocha, entre otros aspectos).

Espesor de subbalasto: para ancho de trocha internacional, el Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013) recomienda que se conforme una capa compactada de 30 cm. Se deberá justificar, en el sentido técnico, la utilización de un espesor inferior al indicado (puede tomarse como referencia 15 cm compactados).

Espesor de balasto bajo durmientes: según el Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013), se deberá limitar a 25 psi el esfuerzo soportado

por la capa de subbalasto; de esta manera se emplea la siguiente ecuación para determinar el espesor de la capa de balasto que transfiera dicha presión a la capa inferior:

$$P_c = \frac{16,8 * P_m}{h^{1,25}}$$

Donde:

P<sub>c</sub> = esfuerzo máximo transmitido al subbalasto (25 psi)

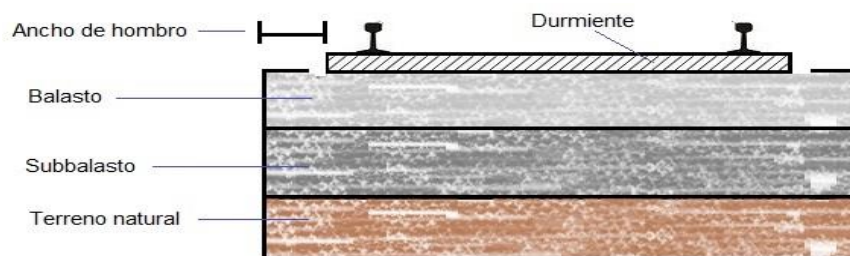
P<sub>m</sub> = intensidad de presión de balasto (psi) / valor máximo de presión recomendado sobre el balasto (60 psi)

h = espesor de balasto bajo durmiente (pulgadas)

Ancho de hombro: para calcular esta distancia se hace una correlación de esta manera: “las fuerzas necesarias para mover una traviesa enterrada con una profundidad de 4 pulgadas (101 mm), disponiendo de 6 pulgadas (152 mm) de hombro de balasto y no soportando cargas verticales es aproximadamente de 300 lb (1,33 kN)” (Ministerio de Transporte, 2013).

En la ilustración 24 muestra un esquema de la sección transversal típica de una vía férrea.

Ilustración 24 Sección transversal típica de la vía férrea



Fuente: elaboración propia

#### **6.2.1.1.1.4. Esquema de vía: cambiavías y apartaderos**

Con el fin de brindarle eficiencia a la operación del sistema férreo, en términos de tiempo de recorrido, es necesario que a partir del diseño se contemplen elementos que le brinden facilidad de operación al tren. De esta manera se propone que el sistema férreo tenga cambiavías y apartaderos para servir de apoyo al ramal principal. Los cambiavías son aquellos elementos que facilitan la bifurcación del eje de la línea férrea con el fin de permitir tener dos líneas a partir de una vía principal. De esta manera se podrá tener un ramal principal y uno desviado. Los apartaderos surgen a partir de los cambiavías y son las partes de doble vía férrea, en un sistema de vía única, que se construyen para utilizarse como zonas de cruce, adelantamiento o estacionamiento.

#### **6.2.1.1.1.5. Estaciones**

Instalaciones en estaciones: debido al uso mixto del sistema férreo propuesto, la cantidad y las características de las estaciones serán de acuerdo con el volumen de viajeros y de carga que se movilizarán por el sistema. De esta manera, las estaciones tendrán las instalaciones necesarias para satisfacer las necesidades de los pasajeros y la mercancía.

Las premisas para especificar las instalaciones que hacen referencia al uso de transporte de pasajeros son la accesibilidad y la información. El Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013) recomienda que las instalaciones deben transmitir información útil y relevante a los usuarios, mediante las que se debe guiar, de manera adecuada, a los pasajeros hacia las taquillas o las puertas, los vestíbulos, los andenes o los accesos, entre otras posibilidades. Deberán incluir carteles de guía, de localización, de información, megafonía, reloj y de horarios de paso de trenes.

Debido a que el sistema férreo hace parte de un conjunto de sistemas de transporte de diferentes tipologías, la premisa para especificar las instalaciones del sistema, en cuanto al uso de transporte de mercancía se refiere, es la compatibilidad del modo férreo con los de tipos carretero y portuario. De esta manera, el Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013) sugiere que las instalaciones para este fin se centren en las zonas de carga y descarga, los andenes y las grúas de carga y descarga en líneas de llegada y salida de contenedores, los pasillos para mercancías, los depósitos para guardar y organizar mercancías, los edificios relacionados, los edificios principales de las estaciones, los almacenes, las salas de personal y las instalaciones intermodales para reenviar mercancías por otros modos de transporte.

#### **6.2.1.1.1.6. Costos de construcción**

A pesar de que el sistema férreo que se propone en este trabajo está planteado para ser ejecutado en territorio colombiano, sus características implican que se tenga una gran variedad en las unidades de medida y en divisas. Para la estructuración financiera fue necesario establecer una unidad básica de medida para que tener homogeneidad en los datos y permitir la comparación de la información en forma directa. Debido a que este proyecto está siendo estructurado según estándares internacionales y a que se desempeñará en Colombia, se tendrá como referencia al dólar norteamericano como divisa y al peso colombiano como moneda nacional con el fin de disponer de una equivalencia entre monedas. Ver tabla 10.

Tabla 10 Unidad de medida y monedas

Unidad de medida	Símbolo
Kilómetro	km
Moneda	Símbolo
Peso colombiano	COP
Dólar estadounidense	USD
Equivalencia entre monedas	TRM (COP)
Tasa de cambio del peso colombiano (16/02/2018)	\$2.877

Fuente: elaboración propia

Con el fin de estimar el valor de la inversión para el desarrollo del sistema férreo, uno de los rubros fundamentales tratados en el presupuesto fue el costo de construcción de las obras civiles. Este rubro se desglosó según capítulos que agrupan diferentes actividades del proceso constructivo. La clasificación fue propuesta por el DANE (2014a) en el indicador de avance físico de obras civiles (4002-120-vías férreas) de la siguiente manera:

Tabla 11 Capítulos constructivos de la vía férrea

Capítulos constructivos de la vía férrea	Definición	Actividades
Infraestructura	Es el conjunto de obras formadas por cortes y terraplenes para llegar al nivel de subrasante, y a la superestructura	Preliminares (desmante y limpieza, descapote, excavación) de la subbase y la base (conformación de terraplén y subbase)

Obras de arte y complementarios	Corresponde al conjunto de actividades para el control de la evacuación de las aguas lluvias y la canalización de los cursos de aguas permanentes o temporales y la estabilización de los taludes	Drenajes (cunetas, alcantarillas y filtros) y contención (bolsacretos, gaviones y muros de concreto)
Superestructura	Está conformada por dos hileras de rieles que van sujetos a piezas transversales llamadas traviesas, que, a su vez, descansan sobre un lecho de material pétreo denominado balasto y se adicionan accesorios de la vía tales como fijaciones, tornillos, etc.	Lanzamiento de escalera - soldadura aluminotérmica - riego de balasto - alce, alineación y nivelación - liberación de tensiones
Obras complementarias y ambientales	Obras o medidas ambientales para la mitigación de los impactos ambientales como pantallas acústicas, enriquecimiento paisajístico y mobiliario urbano, entre otras	Construcción de pantallas deflectoras (acústicas), mobiliario urbano y paisajismo y reasentamiento poblacional

Fuente: DANE (2014a)

De los resultados obtenidos por el DANE (2014a) en un análisis que se hizo de los presupuestos de diferentes proyectos formulados o ejecutados de construcción ferroviaria, se compararon los capítulos constructivos y sus respectivos costos de ejecución y se obtuvo una ponderación de la que se extrajo la participación de cada uno de estos rubros en el total de costos de las obras civiles. Ver tabla 12. Los valores mostrados se tomaron como base para estimar los costos de inversión del sistema férreo propuesto en este estudio de prefactibilidad.

Tabla 12 Ponderación de los capítulos constructivos de la vía férrea

Capítulos constructivos de la construcción de la vía férrea	Porcentaje de participación
Infraestructura	38
Obras de arte y complementarios	6
Superestructura	46
Obras complementarias	4



Gestión predial y ambiental	6
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia con base en DANE (2014a)

La Cámara Colombiana de la Infraestructura (2014) recopila las iniciativas de inversión privada que hasta el año 2014 la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) se encontraba evaluando o estructurando para ser ejecutados a corto, mediano y largo plazo. En la tabla 13 se consolidan algunas de estas iniciativas que comparten características como la longitud, el tipo de carga, el ancho de trocha o las condiciones del terreno con el sistema férreo propuesto entre Medellín y Necoclí. La característica común entre estos proyectos es que son iniciativas que pretenden construir líneas nuevas y quedaron por fuera de este grupo los proyectos que tenían como objetivo rehabilitar líneas existentes.

Tabla 13 Iniciativas privadas de nuevas líneas férreas

Ubicación	Descripción	Longitud (km)	Inversión (millones de USD)	Carga	Promotor
<b>Corto plazo</b>					
Ciénaga - Chiriguaná	Construcción de la segunda línea férrea (trocha yárdica)	245	120,6	Carbón	Fenoco
<b>Mediano plazo</b>					
Buenaventura-Buga	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	100	344	Carbón, a granel	Mariverdo Limited
La Tebaida - Buenos Aires	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	98	894	Contenedores, cereal, carbón	Mariverdo Limited
La Dorada - Buenos Aires	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	177	312	Contenedores, cereal, carbón	Mariverdo Limited

Belencito-La Vizcaína	Construcción de la nueva línea (trocha yárdica)	463	1691	Contenedores, a granel	Votorantim
Ciénaga - Chiriguaná	Construcción de la tercera línea férrea (trocha estándar)	190	305	Contenedores, cereal, carbón, petróleo	Mariverdo Limited
Bogotá - Santa Sofía	Construcción de la nueva línea (trocha yárdica)	173	287	Contenedores, carbón, a granel	Gerdau
Chiriguaná-Dibulla	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	320	736	Carbón	EBX
Ciénaga - Puerto de Santa Marta	Construcción del nuevo acceso al puerto (trocha yárdica)	18	94	Carbón, a granel	Sociedad Portuaria de Santa Marta
<b>Largo plazo</b>					
Buenos Aires - Granada	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	383	1014	Petróleo, cereales	Mariverdo Limited

Fuente: elaboración propia con base en Cámara Colombiana de la Infraestructura (2014)

Con los datos de este consolidado se puede extraer un indicador fundamental para la estructuración presupuestal del proyecto. La relación entre los recursos económicos y el número de kilómetros construidos es un indicador que permite el control, tanto en la planeación como en la ejecución, que brinda información para la toma de decisiones. Debido a la gran profundidad con la que se realizaron los estudios técnicos y económicos de los proyectos radicados en la ANI, en los que diferentes compañías han invertido grandes cantidades de recursos para disminuir la incertidumbre y mejorar la calidad de la información; el indicador de costo por kilómetro construido se tuvo como referencia para la estimación de la inversión del ferrocarril propuesto. Ver tabla 14.

Tabla 14 Indicador de costo por kilómetro construido

Ubicación	Descripción	Inversión (millones de USD/km)
Ciénaga - Chiriguaná	Construcción de la segunda línea férrea (trocha yárdica)	0,492
Buenaventura-Buga	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	3,440
La Tebaida - Buenos Aires	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	9,122
La Dorada - Buenos Aires	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	1,763
Belencito-La Vizcaína	Construcción de la nueva línea (trocha yárdica)	3,652
Ciénaga - Chiriguaná	Construcción de la tercera línea férrea (trocha estándar)	1,605
Bogotá - Santa Sofía	Construcción de la nueva línea (trocha yárdica)	1,659
Chiriguaná-Dibulla	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	2,300
Ciénaga - Puerto de Santa Marta	Construcción del nuevo acceso al puerto (trocha yárdica)	5,222
Buenos Aires - Granada	Construcción de la nueva línea (trocha estándar)	2,648

Fuente: elaboración propia con base en Cámara Colombiana de la Infraestructura (2014)

El ferrocarril que unirá a Chiriguaná con Dibulla es una iniciativa privada radicada en la ANI el 12 de agosto de 2015, tendrá una longitud de 320 km y tiene como objeto la “Construcción y operación del corredor férreo entre la Estación de Chiriguaná en el Cesar y el puerto multipropósito Puerto Brisa en el municipio de Dibulla en La Guajira” (ANI, 2016). El CAPEX de este proyecto, según la ANI (2016), es de \$2.117.500 millones corrientes del año 2015; si se compara con la información extraída de los datos de la Cámara Colombiana de la Infraestructura (2014), es una línea férrea que tendrá una inversión estimada cercana a USD2,3 millones por kilómetro construido. El CAPEX (forma abreviada que proviene de la expresión completa en inglés *capital expenditures*) o gastos de capital es la cantidad que se requiere para adquirir o mejorar los activos productivos (tales como edificios,

maquinaria y equipos, vehículos) con el fin de aumentar la capacidad o eficiencia de una empresa (Enciclopedia financiera, s.f.).

La longitud, el uso y las consideraciones de diseño de este proyecto y las condiciones para ejecutar la construcción son características semejantes a las del ferrocarril Medellín-Necoclí especificadas en los anteriores apartados de este documento. De esta manera, el indicador de costo/kilómetro del ferrocarril Chiriguaná-Dibulla es un valor de referencia que se puede utilizar para hacer una estimación aproximada de la inversión que se tendrá en el proyecto propuesto.

Según los requerimientos mínimos sugeridos por el Manual de Normatividad Férrea (Ministerio de Transporte, 2013) y por las demás consideraciones de diseño propuestas en el estudio técnico de este documento, y según las condiciones económicas del momento y las proyectadas, de acuerdo con la revisión de la literatura y el análisis de diferentes iniciativas con características similares, se estima que el proyecto férreo Medellín-Necoclí tendrá una inversión para las obras civiles de USD2,3 millones por kilómetro construido. Debido a que cuando se esté en la etapa de inversión el proyecto será monitoreado por diferentes organismos nacionales e internacionales, de carácter gubernamental e independiente, se le hará seguimiento a la ejecución presupuestal y de avance de obra según el desglose propuesto por la ANI plasmado en DANE (2014b). De esta manera, la inversión en obras físicas y los procesos constructivos se propone que sean según los de la tabla 15:

Tabla 15 Costo por kilómetro recorrido

Costo por kilómetro	Inversión (millones de USD/km)	2,3
Capítulos constructivos construcción vía férrea	Incidencia	Valor
Infraestructura	38%	0,874
Obras de arte y complementarios	6%	0,138
Superestructura	46%	1,058
Obras complementarias	4%	0,23
Gestión predial y ambiental	6%	
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>2,3</b>

Fuente: elaboración propia con base en DANE (2014b)

Se propone un único trazado de la vía que se espera, según los análisis técnicos, económicos y ambientales, que sea el que más se aproxime a la ejecución. El trazado tiene una longitud aproximada de 330 km, con inicio en Medellín y terminación en Necoclí. De esta manera, la inversión de las obras físicas para esta longitud será como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16 Costo por 759 km

Costo por 330 km	Inversión (millones de USD/km)	759
Capítulos constructivos de la construcción de la vía férrea	Porcentaje de participación	Valor
Infraestructura	38	288,42
Obras de arte y complementarios	6	45,54
Superestructura	46	349,14
Obras complementarias y ambientales	10	75,9
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>759</b>

Fuente: elaboración propia con base en DANE (2014b)

#### **6.2.1.1.2. Consideraciones de operación**

El sistema férreo descrito en el presente ejercicio de investigación propone construir nuevas líneas, lo que quiere decir que se tiene la posibilidad de definir las especificaciones según las necesidades propias del proyecto y, a diferencia del futuro proyecto que tiene como objetivo reactivar el Ferrocarril de Antioquia, la línea férrea que unirá a Medellín con Necoclí no utilizará la infraestructura existente de otros proyectos férreos.

Velocidades de operación: el Ministerio de Transporte (2013) reguló la velocidad de operación de los sistemas férreos de las actuales y de las nuevas líneas de la red férrea nacional a través de los siguientes criterios:

- Tipo de tráfico que discurra por la línea en cuestión: pasajeros, mercancías o tráfico mixto.
- Condiciones del estado de la infraestructura y superestructura ferroviarias de la línea.
- Nivel de servicio para el que la línea está diseñada, altas prestaciones o bajas prestaciones, que depende en gran medida del estado de la línea.
- Estado y diseño del material rodante que preste el servicio Orografía del terreno por la que discurra la línea férrea en cuestión (Ministerio de Transporte, 2013).

Para las nuevas líneas férreas de la red nacional, el Ministerio de Transporte (2013) propuso un límite mínimo de velocidad, según el uso de las mismas, que se resume en la tabla 17. Estos límites son omitidos en zonas de apartado y aparatos de vía y en otras áreas en las que la velocidad esté restringida por condicionantes específicos.

Tabla 17 Límites mínimos de velocidad, para vías nuevas según uso

Uso de la vía	Velocidad mínima (km/h)
Mercancía	50
Pasajeros	80
Mixta	60
Alta prestación-Pasajeros	120

Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Transporte (2013)

Tiempo de recorrido: es el tiempo que transcurre desde que un tren inicia su trayecto hasta que llega a su último destino. Dentro de este lapso se incluyen todas las paradas necesarias para realizar el recorrido. De esta manera, la velocidad comercial del tren se obtiene al dividir la distancia del recorrido sobre el tiempo transcurrido. Para el transporte de carga, este aspecto no es tan relevante debido a que lo que prima es que la carga tenga un flujo de origen a destino constante en el tiempo. Para garantizar esta regularidad, el diseño plantea que el sistema cuente con elementos como apartaderos que mitiguen las ineficiencias del sistema.

A diferencia del transporte de carga, el tiempo de recorrido es un criterio importante para el diseño de las vías para fines de transporte de pasajeros, debido a que el confort de las personas es una de las premisas a la hora de establecer las especificaciones de diseño, construcción y operación. “Para los tráficos de viajeros, la velocidad comercial es muy importante, ya que es uno de los criterios que tiene en cuenta un viajero para tomar la decisión de utilizar el modo férreo en lugar del modo carretero” (Ministerio de Transporte, 2013). En la tabla 18 se consolidaron las velocidades comerciales de algunos sistemas férreos.

Tabla 18 Velocidades comerciales por sistema férreo

Sistema férreo	Distancia entre estaciones (m)	Velocidad promedio (km/h)	Velocidad máxima (km/h)
Tranvía	400	20	80
Metro	600	35	100
Tren de cercanías	Distancia > 2.000 m	80	140

Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Transporte (2013)

### Capacidad del sistema férreo:

Capacidad teórica: es la máxima cantidad teórica de producto (carga o pasajeros) que puede transportar el sistema en un espacio de tiempo. Para el transporte de carga se pueden definir indicadores anuales, mensuales o diarios. Para el transporte de pasajeros se puede establecer la máxima capacidad de personas transportadas según las características de circulación y de capacidad de las unidades móviles. El Ministerio de Transporte (2013) enumera las siguientes variables:

- Velocidad de operación de la línea.
- Capacidad de los vagones o vehículos disponibles para transportar un determinado producto o viajeros.
- Número y características de locomotoras disponibles para el transporte.
- Características de la explotación de la línea, tráfico mixtos, mallas de circulación (Ministerio de Transporte, 2013).

Capacidad real, según la misma fuente, es

- la capacidad de circulación de la línea se refiere al número de trenes que pueden circular en un intervalo de tiempo, en ambos sentidos de la línea, bajo determinadas condiciones de explotación. Evidentemente el concepto de capacidad de transporte va muy ligado al concepto de capacidad de circulación” (Ministerio de Transporte, 2013).



Con el fin de estimar la capacidad instalada del sistema férreo y poder cuantificar los beneficios otorgados por su operación, en la evaluación financiera del proyecto, se tomó como tren de referencia el de locomotoras diésel eléctricas del fabricante EMD (Electromotive-Diesel), que tienen una potencia de 2.300 HP y ofrecen una capacidad de arrastre de 1.200 toneladas (tara más carga) en promedio, según las pendientes estimadas del recorrido entre Medellín y Necoclí. Como referencia operacional, se tomaron algunos datos de la red férrea chilena: según el informe de la firma Steer Davies Gleave (2011), el operador Ferrocarriles del Pacífico (FEPASA) tiene un parque 23 locomotoras de 23.000 HP con las que movió ocho millones de toneladas en el año 2012, según informó la ALAF (Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles, 2014). Se utilizó en ese año, entonces, alrededor de una tercera parte de la capacidad instalada de la red.

Los vagones por utilizar estarán de acuerdo con el tipo de carga que se movilizará; según las proyecciones de movilización de carga de la sección 6.1.2.4.1. la distribución de la carga, por tipo de embalaje, y que, por ende, define el tipo de vagón, ve muestra en la tabla 19. De esta manera, el número de vagones máximo por locomotora estará ligado a la capacidad de arrastre de la misma y al tipo de vagón.

Tabla 19 Datos referentes para diseños

Tipo de vagón	Capacidad vagón (ton)	Participación (porcentaje)
Plataforma (contenedores)	30	77
Tolva (a granel)	50	18
Vagón cerrado (carga suelta)	30	6
<b>Total</b>		<b>100%</b>

Al tener en cuenta los datos de referencia anteriores, las consideraciones de diseño de la infraestructura (sección 6.2.1.1.1.), las de operación, los vehículos, el mercado potencial (sección 6.1.2.4.1.) y las expectativas de servicio, el sistema férreo

propuesto entre Medellín y Necoclí, estará en la capacidad de movilizar 20 millones de toneladas anuales.

#### **6.2.1.1.2.1. Costos de operación**

De los datos presentados por Steer Davies Gleave (2011) para el Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones de Chile, se consolidaron los costos de operación de algunos operadores férreos de ese país como Ferrocarril del Pacífico, Transap y Ferronorte, entre otros. Debido a que características como la tecnología del material rodante, la infraestructura y el tipo de uso de la red férrea de Chile son similares a las descritas para el sistema férreo propuesto, se tuvieron como referencia los datos de dicho informe para estimar los costos de operación del sistema férreo Medellín-Necoclí.

El análisis de Steer Davies Gleave (2011) contempló y consolidó los datos de locomotoras con potencias de 1.400 HP y 2.300 HP alimentadas con diésel; con base en ellas se estimaron los costos de operación y se discriminaron, además, por tipo de vagón remolcado. El mencionado informe propone una forma sencilla de cuantificar y estandarizar todos los costos de operación. Se planteó analizar el costo por cada tonelada movilizada a través de 1 km de recorrido (\$/tonelada-km).

El combustible es uno de los principales aspectos a la hora de calcular costos de operación. Su consumo está en función de las características de la locomotora, de la velocidad de operación, del esfuerzo de arrastre según la carga, de las pendientes y del trazado. Los costos de circulación comprenden los seguros, en los que se incluyen pólizas de accidentes, incendios, daños a las locomotoras y a la carga transportada y gastos de responsabilidad civil, entre otros.

El mantenimiento de los vehículos es uno de los costos más significativos en los costos de operación. Según Steer Davies Gleave (2011), una práctica común de los

operadores férreos chilenos es realizar cuatro mantenimientos programados según el kilometraje recorrido; de esta manera se tiene mayor grado de certeza a la hora de realizar un presupuesto y anticiparse a gastos inesperados. Se procede a hacer mantenimientos al finalizar cada viaje, cuando cumplen 20.000 y 100,000 kilómetros y con “reparaciones y puestas a punto” cada 400.000 km. Los honorarios se cuantificaron al tener en cuenta las personas de la tripulación, el personal de operaciones (personas encargadas en los patios de maniobra, personal en los puestos de mando y controladores, entre otros). Según los estudios realizados, la firma Steer Davies Gleave (2011) supuso que los costos de gestión y administración fueron un 5% de los gastos operacionales, al tener en cuenta los consumos de energía, el personal de trenes y los costos de mantenimiento del material rodante. Se consideró, además, que un 3% de los gastos operacionales corresponden a otros gastos de operación. De esta manera, en la tabla 20 se consolidaron los costos de operación del sistema férreo.

Tabla 20 Costo de operación

Componente de costo	Costo (USD/tonelada-km) de la Locomotora de 1.400 HP		Costo (USD/tonelada-km) de la Locomotora de 2.300 HP		
	Plataforma	Tolva granelera	Plataforma	Plataforma con contenedor refrigerado	Tolva granelera
Combustible	0,0118	0,0136	0,0083	0,0089	0,0087
Costos de circulación	0,0000	0,0000	0,0021	0,0021	0,0021
Mantenimiento	0,0051	0,0057	0,0039	0,0041	0,0035
Honorarios	0,0020	0,0022	0,0010	0,0010	0,0010
Costos de gestión y administración	0,0010	0,0010	0,0006	0,0008	0,0006
Otros gastos de operación	0,0006	0,0012	0,0014	0,0014	0,0010
<b>Total</b>	<b>0,0284</b>	<b>0,0337</b>	<b>0,0312</b>	<b>0,0343</b>	<b>0,0253</b>

Nota: tasa de cambio: 620 pesos chilenos por dólar

Fuente: elaboración propia con base en Steer Davies Gleave (2011)

De las proyecciones de movilización de carga de los puertos del golfo de Urabá se puede rescatar la participación de cada tipología de carga (tipo de embalaje), en la que se evidencia que los contenedores representan el 80,95% del total de las toneladas que pasan por los puertos, mientras que las cargas a granel y las sueltas representan el 19,05% restante. De esta manera, se tomó esta distribución de cargas para definir la participación de los costos por tipología de vagón remolcado. Con lo anterior se obtuvo un ponderado que definió un valor promedio para estimar los costos de operación por cada tonelada movilizadora a través de un kilómetro en la línea férrea entre Medellín y Necoclí. Debido a las necesidades de arrastre que deben tener las locomotoras al salir del valle de Aburrá por la topografía montañosa, se estimaron los costos de operación al tomar los datos de las locomotoras de 2.300 HP.

Tabla 21. Costo ponderado promedio

<b>Ponderado</b>	<b>0,030064286</b>	<b>USD/tonelada-km</b>	<b>FÉRREO</b>
------------------	--------------------	------------------------	---------------

Fuente: elaboración propia

### **6.2.1.2. Vehículos**

#### **6.2.1.2.1. Locomotoras**

Uno de los aspectos más relevantes en el desarrollo de un sistema férreo es la definición de las características de las locomotoras, puesto que la elección de estas especificaciones tendrá un gran impacto en la inversión, en el desarrollo de la construcción y en la operación del sistema. La característica de mayor importancia en las locomotoras es la especificación de la fuente de energía, puesto que, debido a la selección que se haga para esta variable, se tendrá una gran incidencia en

diversos factores. Por un lado, en la construcción, según sea dicha fuente, proveniente de una red eléctrica o de la combustión interna, se tendrán o no ciertos elementos de la infraestructura física de la vía que repercuten en muy alto grado en la inversión inicial del proyecto y en el desarrollo del mismo. Si la fuente de energía para los trenes es eléctrica, se deberán diseñar, construir e instalar unos elementos adicionales a los que una vía férrea simple puede tener (transformadores, líneas eléctricas y torres, entre otros) y que aumentarían en forma significativa el monto de los recursos iniciales para ejecutar el proyecto. Por otro lado, en la etapa de operación, la utilización de la electricidad como fuente de energía tendría disminuciones en los costos de circulación con respecto a la utilización de locomotoras de combustible. De manera adicional, el impacto ambiental, por no incurrir en emisiones de contaminantes, tiene gran peso a la hora de tomar una decisión.

Como antes se mencionó, Colombia dejó en el olvido a los sistemas férreos, al permitir que la infraestructura existente se deteriorara y se volviera obsoleta y, que, a diferencia de países con mayor desarrollo, la red férrea no adoptara las mejoras tecnológicas de las cuales gozan hoy dichas naciones. Al hacer un balance entre las tecnologías disponibles en el mercado, en materia de sistemas férreos, la infraestructura férrea existente en Colombia, los planes de desarrollo intermodal del Estado colombiano y las necesidades del presente proyecto, la balanza se inclina por que es más conveniente para el mismo la utilización de locomotoras de combustión interna. En la actualidad no se tienen políticas establecidas en torno a la utilización de la electricidad como fuente de energía para los sistemas férreos, ni existen iniciativas (sin tener en cuenta el nuevo Ferrocarril de Antioquia) que apalanquen la utilización de esta alternativa para mover las locomotoras. Para el proyecto del sistema férreo Medellín-Necoclí se propone la utilización de locomotoras de combustión interna, de tipo diésel eléctrica.

Es un vehículo impulsado por motores eléctricos que en lugar de tomar la energía eléctrica de un conductor externo a él (tercer riel o línea aérea de contacto) la obtienen de un generador montado sobre el mismo vehículo y es impulsado por un motor primario de tipo térmico. Dicho esto, podemos establecer, entonces, que los elementos principales que componen la locomotora diesel eléctrica son el motor térmico, un generador principal y finalmente los motores de tracción, que recibirán la energía eléctrica de éste y serán los encargados de convertirla en energía mecánica para impulsar los ejes motrices (Bilstein, 2014).

- Menor inversión: la utilización de locomotoras diésel eléctricas no requiere la construcción ni la instalación de elementos adicionales en la infraestructura férrea que se ha propuesto hasta el momento; de esta manera, la inversión inicial del proyecto será mucho menor en comparación con la que se tendría que hacer si se decidiera tener locomotoras alimentadas por una red eléctrica, para las que se deben construir catenarias o un tercer riel e instalar los equipos adicionales de este sistema.
- Adaptación de las tecnologías en forma gradual: Colombia es un país que no está preparado para implementar, de manera sostenible, las últimas tecnologías en sistema férreos, no solo por la infraestructura actual del transporte sino porque no existe una tendencia definida a utilizar el modo férreo como columna vertebral de los sistemas logísticos en Colombia. La utilización de locomotoras impulsadas por combustibles fósiles es una forma gradual de manipular la tendencia del sistema de transporte colombiano, al permitir que los sectores productivos y de transporte perciban los beneficios de la utilización de los sistemas férreos de modo que se los motive a invertir en este modo con el fin de optimizar la operación a través de la inclusión de nuevas tecnologías férreas, como trenes movilizadas por energías renovables.

- Peso y dimensiones reducidas: la utilización masiva en el mundo de locomotoras diésel eléctricas ha permitido desarrollar mejoras en los motores de generación y transmisión de este tipo, lo que hace posible una reducción en el peso de los motores porque los hace más seguros y compactos.
- Economía: según Bilstein (2014), por su alto rendimiento térmico, el motor diésel aprovecha mejor que ningún otro motor térmico las calorías contenidas en el combustible.
- Disponibilidad: al ser una tecnología madura, existen grandes facilidades para la consecución de repuestos y personal técnico calificado para el mantenimiento. De esta manera se garantiza que las máquinas estén disponibles para su funcionamiento la mayor parte del tiempo y a un bajo costo. Existen compañías con amplia trayectoria en el mercado, como General Electric, que son fabricantes de este tipo de equipos y que dan respaldo a los inversionistas.

Ilustración 25 Locomotora diésel eléctrica de General Electric



Fuente: Worrell (2015)

Costo de las locomotoras: la adquisición de las locomotoras se hará en forma gradual, según sea la demanda del servicio férreo. Existen diferentes modelos para adquirir y financiar el material rodante, como el *leasing*, en el que se paga un canon de arrendamiento por la utilización de las locomotoras, o la participación de los proveedores como socios del proyecto, son algunos de los que se pueden aplicar para la consecución de los trenes. Para tener una referencia del costo de los vehículos, se hace mención de las cuatro locomotoras que en 2015 el operador colombiano, Ferrocarril del Pacífico adquirió por un valor de USD2,5 millones cada una, según Ferrocarril del Pacífico compró cuatro locomotoras (2015), provenientes de Sudáfrica. De igual manera, las operadoras férreas mexicanas Ferromex y Ferrosur adquirieron en ese mismo año 34 locomotoras a la firma estadounidense Electromotive Diesel (filial de Caterpillar), por un valor total de USD80,65 millones, de acuerdo con Ferromex y Ferrosur reciben primeras locomotoras nuevas de un pedido de 34 (2015), lo que quiere decir que el costo por unidad fue de USD2,37 millones. Se definió, entonces, la utilización de locomotoras diésel eléctricas de 2.300 HP, con un valor estimado de USD2,4 millones.

#### **6.2.1.2.2. Vagones**

Los vagones que se utilizarán en el sistema férreo estarán de acuerdo con el tipo de mercancía y con las formas de embalaje que los puertos del golfo de Urabá, los centros de producción y los de consumo (ubicados en el centro del país) estén adecuados para manipular, según sean sus volúmenes de carga y la infraestructura física, para lograr el cargue y el descargue de la mercancía de modo que se faciliten el transporte intermodal y la manipulación en tierra. De esta manera, se propone una configuración óptima para los trenes, en la que los vagones utilizados sean los más versátiles y se ajusten a las necesidades de los clientes para que sean consecuentes con la capacidad del proyecto de generar retorno.



Vagón plataforma: en el transporte de carga, uno de los vehículos más utilizados debido a su versatilidad es el vagón plataforma, equipo que será utilizado para el transporte intermodal puesto que permite la movilización de carga en general; es ideal para la movilización de contenedores (de 20 y 40 pies de longitud). Se transporta en este vehículo la mercancía que no requiere protección contra el medio ambiente y posee sistemas que permiten asegurar la carga a la plataforma para transportarla en forma segura. Debido a que este vehículo es una plataforma, no restringe las dimensiones de la carga contenida; por lo tanto, se deberá tener especial cuidado en respetar los gálibos máximos del material rodante al tener en cuenta los gálibos mínimos de la infraestructura del sistema férreo. El peso del vehículo promedio es de 28 toneladas y la capacidad de carga promedio de 70 toneladas. Para la evaluación financiera se tuvo como costo estimado de este vagón la suma de USD38,710.

#### Ilustración 26 Vagón plataforma



Fuente: Tomado de Hobby Modelismo (2004)

Vagón cubierto o furgón: es un vehículo capaz de transportar carga suelta y por lo general se utiliza para proteger la mercancía de la intemperie y del hurto de la carga que no está embalada en grandes volúmenes. Se tendrá, también, la posibilidad de incluir en la flota del sistema férreo furgones con sistemas de refrigeración para el transporte de alimentos congelados o mercancía que requiera condiciones controladas de temperatura y humedad. El peso del vehículo promedio es de 25 toneladas, la capacidad de carga promedio es de 68 toneladas y el volumen promedio es de 120 m<sup>3</sup>. Para la evaluación financiera se tuvo como costo estimado de este vagón la suma de USD48.387.

Ilustración 27 Vagón cubierto



Fuente: Tomado de Hobby Modelismo (2004)

Vagón de tolva granelera: se utiliza para transportar mercancía que, en conjunto, no tiene una geometría definida; por lo general se emplea para contener y transportar productos agroindustriales como granos (café, maíz y trigo, entre otros), que necesitan estar protegidos contra los agentes atmosféricos. Para este tipo de productos el vehículo es cerrado y tiene aberturas en las partes superior e inferior de su armazón para facilitar el cargue y descargue de los productos. Se emplearán también vagones de tolva granelera para el transporte de minerales como el carbón; a diferencia de los vehículos utilizados para el transporte de granos, estos vagones son abiertos en la parte superior debido a que no se necesita protección contra el exterior. El peso del vehículo promedio es de 28 toneladas, la capacidad de carga promedio es de 72 toneladas y el volumen promedio es de 145 m<sup>3</sup>. Para la evaluación financiera se tuvo como costo estimado de este vagón la suma de USD58.065.

Ilustración 28 Vagones de tolva granelera



Uso agrícola



Uso mineral

Fuente: Tomado de Hobby Modelismo (2004)

Vagón autorack: este equipo se utilizará para el transporte de automóviles; puede tener dos o tres niveles; se caracteriza porque tiene un sistema de fijación para que los vehículos no se muevan en el camino y los protege de colisiones entre ellos o contra la estructura del vagón. Podrán ser de estructura abierta o cerrada según sean las necesidades de los clientes. La capacidad máxima es de 24 unidades. Para la evaluación financiera se tuvo como costo estimado de este vagón la suma de USD38.710.

Ilustración 29 Vagón *autorack*



Fuente: Tomado de Hobby Modelismo (2004)

Vagones de pasajeros: serán vagones diseñados para el transporte de personas, en los que los viajes máximos tendrán una duración de 4 o 4,5 horas; estarán adaptados con los servicios básicos, como sistema de aire acondicionado, baño, pasillos de circulación, compartimientos para guardar el equipaje y sillas reclinables, entre otros. Para la evaluación financiera no se analizaron costos con este tipo de vagón debido a que los ingresos por la movilización de pasajeros son muy pequeños en relación con los que se tendrán como fruto de la movilización de carga.

### 6.2.2. Estudio ambiental

Los proyectos lineales, como en el caso del sistema férreo objeto de este trabajo de grado, se pueden dividir en las siguientes etapas o fases: concepción de la idea, prefactibilidad, factibilidad, diseños, diseños definitivos y construcción; para cada una de las etapas antes descritas el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible definió el alcance ambiental requerido. En el caso de la concepción de la idea se lleva a cabo un reconocimiento ambiental general o se procede a un análisis ambiental de restricciones; en la prefactibilidad se hace una evaluación ambiental preliminar que, en algunos casos y de acuerdo con la definición de la autoridad, podría configurarse como un diagnóstico ambiental preliminar o como un diagnóstico ambiental de alternativas (DAA); para este efecto se procedió a la consulta a la autoridad ambiental relacionada con la magnitud de la evaluación ambiental, se dio inicio al auto de trámite de licencia ambiental y la autoridad está obligada a entregar términos de referencia; en la factibilidad se elabora el estudio ambiental de factibilidad, es decir el estudio de impacto ambiental (EsIA), de acuerdo con los términos de referencia para el caso de estudio y se lleva a cabo el proceso de evaluación de condiciones para aceptación o negación de licencia ambiental propiamente dicho; en los diseños se actualiza el estudio de impacto ambiental; para los diseños definitivos se modifica, si se requiere, el EsIA y, en especial, lo relacionado con aspectos sociales; a continuación se articula el plan de manejo ambiental (PMA) en el proceso licitatorio de la siguiente etapa y, por último, en la etapa de construcción se ejecuta el PMA, se implementa el programa de monitoreo y vigilancia, se lleva a cabo el programa asociado con el impacto comunitario y se desarrollan las actividades asociadas con el plan de abandono y restauración.

Los términos de referencia definidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) aplicables a este trabajo de grado, editados en 2006 y por tal motivo sujetos a cambios, de acuerdo con la legislación ambiental vigente en el momento de solicitar el inicio del

trámite ante la autoridad ambiental, definen algunos parámetros básicos que harán parte de la información que se entregue a dicha autoridad, a saber: localización y descripción, características relevantes del área de influencia, obras y acciones básicas de la construcción, identificación, jerarquización y cuantificación de los impactos ambientales significativos, zonificación ambiental y de manejo y medidas de manejo ambiental, entre otros. Los parámetros antes enunciados se desarrollan en este texto, pero están sujetos a cambios legales o a declaratorias de distritos de manejo integrado y zonas de reserva o de protección ambiental, en cuyo caso se deberá realizar el proceso de sustracción de área ante Parques Nacionales Naturales o la autoridad delegada.

### 6.2.2.1. Marco legal

En el contexto en el que se desarrolló el proyecto, se hizo un análisis de las leyes, los decretos, las resoluciones y las normas afines que aplican en sus etapas de construcción y operación en el consumo y uso de los recursos naturales, que se presentan en la tabla 22.

Tabla 22. Marco de referencia legal ambiental

MARCO DE REFERENCIA LEGAL PARA EL USO DE LOS RECURSOS NATURALES				
NORMA	AÑO	OBJETO	ARTÍCULO	CONTENIDO
<b>Constitución Política de Colombia</b>	<b>1991</b>	Decretar, promulgar y sancionar la	<b>8.</b>	Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación
		Constitución Política de Colombia como norma de normas	<b>63.</b>	Los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, el patrimonio arqueológico de la Nación y los demás bienes que determine la ley

				son inalienables, imprescriptibles e inembargables
			<b>79.</b>	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo
			<b>80.</b>	El Estado planificará el manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, su restauración o su sustitución
			<b>95.</b>	Establece, como deber de todos, la protección de los recursos culturales y naturales del país, y de velar por la conservación de un ambiente sano (Corpourabá, 2012)
<b>Decreto 2372</b>	<b>2010</b>	Reglamenta el sistema nacional de áreas protegidas		Establece objetivos, principios, categorías, funciones, subsistemas, uso del suelo, instrumentos de planificación, determinantes ambientales y armonía con otros planes ambientales
<b>Ley 1558</b>	<b>2012</b>	El fomento y desarrollo del sector y la regulación de la actividad turística	<b>3.9</b>	El turismo se desarrolla en armonía con los recursos naturales y culturales a fin de garantizar sus beneficios a las futuras generaciones. La determinación de la capacidad de carga constituye un elemento fundamental de la aplicación de este principio. El desarrollo sostenible se aplica en tres ejes básicos: ambiente, sociedad y economía

<b>Decreto 3600</b>	<b>2007</b>	Reglamenta el ordenamiento de suelo rural		Determinantes y categorías de protección y de desarrollo restringido del suelo rural. Unidad de planificación rural. Ordenamiento del suelo rural y suburbano. Centros poblados rurales
<b>Decreto 2811</b>	<b>1974</b>	Establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente		Determina que el ambiente es patrimonio común; el Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los recursos naturales y la defensa del ambiente (Corpourabá, 2012)
<b>Decreto 3600</b>	<b>2007</b>	Reglamenta el ordenamiento del suelo rural		Determinantes y categorías de protección y de desarrollo restringido del suelo rural. Unidad de planificación rural. Ordenamiento del suelo rural y suburbano. Centros poblados rurales
<b>Ley 2</b>	<b>1959</b>	Sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables	<b>2.</b>	Se declaran zonas de reserva forestal los terrenos baldíos ubicados en las hoyas hidrográficas que sirvan o puedan servir de abastecimiento de aguas para consumo interno, producción de energía eléctrica y para irrigación y cuyas pendientes sean superiores al 40%
			<b>7.</b>	La ocupación de tierras baldías estará sujeta a las reglamentaciones que dicte el Gobierno con el objeto de evitar la erosión de las tierras y proveer a la conservación de las aguas

<p><b>Decreto 3930</b></p>	<p><b>2010</b></p>	<p>Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados</p>		<p>Propone criterios para el ordenamiento, los usos y los vertimientos, además de reglas e instrumentos y los planes correspondientes (Corpourabá, 2012)</p>
<p><b>Decreto 1640</b></p>	<p><b>2012</b></p>	<p>Reglamentar los instrumentos de planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas, acuíferos y comisiones conjuntas</p>		<p>Establece los tipos de planes, procedimientos, requisitos, reglamentos, funciones y competencias (Corpourabá, 2012)</p>
<p><b>Decreto 948</b></p>	<p><b>1995</b></p>	<p>Reglamento de protección y control de la calidad del aire (Corpourabá, 2012)</p>		<p>Mecanismos para mejorar y preservar la calidad del aire y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire</p>
<p><b>Ley 99</b></p>	<p><b>1993</b></p>	<p>Creación del Ministerio de Medio Ambiente</p>		<p>Reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables; se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA)</p>



<b>Decreto 2041</b>	<b>2014</b>	Por el cual se reglamentan las licencias ambientales	Fortalece el proceso de licenciamiento ambiental en aras de la protección del medio ambiente
-------------------------	-------------	---	--

Fuente: elaboración propia

### 6.2.2.2. Descripción general

Como se ha mencionado en este trabajo de investigación, el objetivo del mismo es la prefactibilidad para el desarrollo de un sistema férreo entre Medellín y el Urabá antioqueño de acuerdo con los parámetros de la metodología de la ONUDI con el fin de evaluar la continuidad a la fase de inversión del proyecto. El planteamiento del proyecto responde a necesidades tanto de la subregión del Urabá Antioqueño, que es considerada una de las tierras más ricas del departamento, sino también la menos favorecida en su administración. “La gran zona portuaria de Urabá requiere mejorar la conectividad vial para garantizar el transporte multimodal de la región y de un seguimiento a los acuerdos entre los diferentes actores para su desarrollo” (Gobernación de Antioquia, 2016).

Por otro lado, el proyecto requiere un diagnóstico ambiental de alternativas (DDA), por ser de gran magnitud e impacto ambiental, físico y social y también para el trámite de licenciamiento ambiental. En este caso, el DAA hace alusión a una alternativa ambiental, por ser un estudio de prefactibilidad netamente teórico. A continuación, se argumentan los ítems de mayor relevancia para el proyecto en cuestión de DAA.

- Descripción general de las alternativas de localización del proyecto: como se hablará más adelante en el presente estudio, se consideró como alternativa teórica más viable la construcción de la vía férrea de forma paralela a las rutas internacionales 60 y 92, con el ánimo de generar el menor impacto

ambiental y social posible, pues este terreno ya contaría con una intervención significativa del hombre.

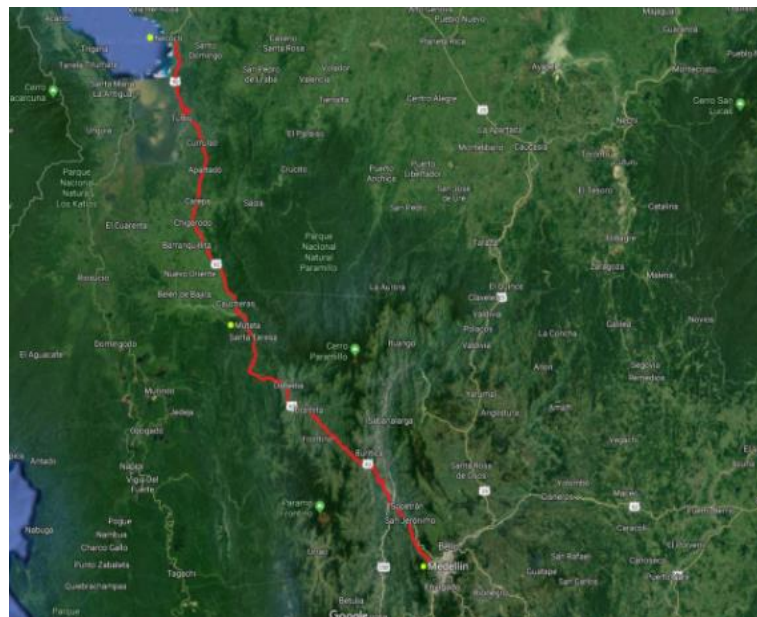
- Información sobre la compatibilidad del proyecto con los usos del suelo establecidos en el POT: en términos generales, el Urabá antioqueño cuenta con suelos en su mayor parte de uso agrícola y agroforestales; sin embargo, como se mencionó en el ítem anterior, el proyecto, desde el punto de vista teórico, se construiría en zonas ya intervenidas y que por los proyectos existentes se catalogarían como suelos de uso de servicios de transporte, por lo cual tendría una alta compatibilidad con el POT de la zona.
- Identificación de los potenciales riesgos y efectos sobre el medio ambiente y los recursos naturales renovables. Los principales impactos ambientales identificados en el estudio fueron, la modificación del paisaje, la contaminación atmosférica por emisión de material particulado y la erosión por remoción de cobertura vegetal, que se explican más a fondo en los numerales siguientes.
- Identificación de las comunidades y de los mecanismos utilizados para informarles sobre el proyecto, obra o actividad. El proyecto en su mayor parte se desarrolla en el municipio de Necoclí y en otros como Turbo (con inclusión de su corregimiento Currulao), Apartadó y Carepa, entre otros municipios del Urabá antioqueño. Por lo tanto, la comunidad afectada sería en mayor parte antioqueños, entre los cuales hay comunidades indígenas y afrodescendientes.

Los mecanismos para la comunicación del proyecto integrarían tanto la parte visual como la auditiva, con carteles, pasacalles, cuñas radiales, encuentros con la comunidad y sus principales actores y cuñas televisivas, entre otros.

### 6.2.2.3. Ubicación del proyecto

El proyecto, desde la perspectiva de su formulación teórica, se plantea como una conexión por medio de una vía férrea entre el municipio de Necoclí y la ciudad de Medellín, por lo cual, y para causar el menor impacto ambiental posible, se determinó que el desarrollo del proyecto se tendrá de manera paralela con las rutas internacionales 90 y 62, con salida del municipio de Necoclí, pasando por Turbo y por último para dirigirse hacia Medellín. De esta manera se construiría sobre territorio que ya ha sido intervenido por el hombre y se causaría un mínimo impacto ambiental.

Ilustración 30 Trazado de la línea férrea



Fuente: elaboración propia sobre imagen de *Google Maps* (2017)

#### **6.2.2.4. Descripción de la zona intervenida**

##### Urabá antioqueño

El desarrollo de la vía férrea proyectada se realiza sobre todo en la subregión del Urabá antioqueño, que es de gran importancia para el departamento pues es una puerta de conexión hacia las relaciones económicas internacionales. La subregión ocupa una extensión de 11.664 km<sup>2</sup>, tiene una población 508.802 habitantes y la componen once municipios: Arboletes, Necoclí, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá, Apartadó, Carepa, Chigorodó, Mutatá, Turbo, Murindó y Vigía del Fuerte. Posee un accidente geográfico de suma importancia para el departamento y el país: el golfo de Urabá, que está ubicado sobre el Mar Caribe y tiene una extensión de 1.500 km<sup>2</sup>. En esta subregión predominan la pesca, la ganadería, la agroindustria, la explotación maderera, la agricultura y el turismo. Es una zona estratégica en la que se estudia la ejecución de futuros proyectos, como la modernización del puerto de Urabá (Gobernación de Antioquia, 2017).

Con su riqueza natural y su posición estratégica, Urabá es hoy una región de grandes oportunidades y potencialidades que enfrenta retos políticos, económicos y sociales para un desarrollo planificado, ambientalmente equilibrado y sostenible, con equidad y justicia social, que genere bienestar para sus comunidades (CCJ, 2017).

Es la subregión más promisoriosa del departamento y una de las más valiosas en términos de tierras; entre su gran diversidad se destacan su clima y sus condiciones geográficas, que favorecen el cultivo de palma africana, la exportación maderera, el cultivo de banano y la ganadería extensiva. De esta manera, el Urabá antioqueño cuenta con un eje bananero conformado por los municipios de Turbo, Apartadó, Carepa y Chigorodó y un eje ganadero con los municipios de Necoclí, Arboletes, San Pedro de Urabá y San Juan de Urabá (ACNUR, 2004). La subregión de Urabá es la única zona costera de Antioquia, lo que la convierte en la salida del departamento al mar. Además, comparte ecosistemas estratégicos con Córdoba y Chocó y configura una porción del denominado Chocó biogeográfico. El golfo de

Urabá, el sistema aluvial del Atrato, con sus humedales asociados, y la serranía de Abibe conforman elementos que estructuran el territorio. Urabá es la segunda subregión de Antioquia con mayor área protegida (cerca de 98.000 ha) (Gobernación de Antioquia, 2016).

En la tabla 23 se resumen las generalidades en materia ambiental, geográfica y biológica del Urabá antioqueño, con base en Gobernación de Antioquia e IGAC (2007).

Tabla 23. Generalidades ambientales

<b>UBICACIÓN</b>	Noroccidente del departamento de Antioquia
<b>LÍMITES GEOGRÁFICOS</b>	Al norte con el mar Caribe, al oriente con el departamento de Córdoba y con la subregión de Occidente, al sur con el departamento de Chocó y las subregiones de Suroeste y Occidente, y al occidente con el departamento de Chocó
<b>DISTRIBUCIÓN DE LLUVIAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Rangos</u>: varían entre un sitio y otro, desde 800 milímetros anuales cuando se ascienden aproximadamente 20 metros sobre el nivel del mar (msnm), hasta 1.200 milímetros anuales cuanto más cerca se esté de las cadenas montañosas en el sur</li> <li>• <u>Temporalidad</u>: tiene tendencia de distribución en forma monomodal, es decir, un período lluvioso prolongado separado de un período seco que por lo general corresponde al primer trimestre del año</li> </ul>
<b>TEMPERATURA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Temperatura promedio</u>: 28°C</li> <li>• <u>Piso térmico</u>: cálido y comprende alturas que van de 0 a 1.000 msnm</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Variaciones</u>: incremento de la temperatura en los meses de febrero, marzo y abril; así mismo se registra una disminución de la temperatura media mensual en los meses de septiembre a noviembre</li> </ul>	
<b>DISTRIBUCIÓN DE HUMEDAD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Déficit</u>: al norte, en inmediaciones del municipio de San Juan de Urabá, en el que se registran valores de 370,7 mm anuales en los cinco primeros meses, suficientes para garantizar un régimen de humedad del suelo ústico. En el sector centro se registra un déficit bajo (43,2 mm/año) y en el sector sur del municipio de Chigorodó no existe déficit</li> <li>• <u>Exceso</u>: al sur, con el sector más significativo ubicado entre los municipios de Chigorodó y Mutatá, donde se registran valores superiores a los 2.200 mm anuales, lo que implica tierras con pérdidas en la fertilidad y sectores con alta incidencia de enfermedades fungosas</li> </ul>	
<b>VEGETACIÓN</b>		
<b>(Calificación ecológica de Holdridge, 1979)</b>		
<b>Zonas de vida</b>	<b>Sectores</b>	<b>Ejemplos de especies</b>
Bosque seco tropical (bs-T)	Algunos sectores de los municipios de Arboletes, San Juan de Urabá y San Pedro de Urabá	Caucho ( <i>Ficus sp</i> ) Ceiba ( <i>Ceiba pentandra</i> ) Guamo copero ( <i>Inga spectabilis</i> )

		Balso ( <i>Ochroima pyramidale</i> )
Bosque húmedo tropical (bh-T)	Parte de las áreas bananera y ganadera de la planicie de los ríos León y Atrato, con inclusión del golfo de Urabá	Zurrumbo ( <i>Trema micrantha</i> ) Chingalé ( <i>Jacaranda copaia</i> ) Drago ( <i>Croton sp</i> ) Ateno ( <i>Albizzia carbonaria</i> )
Bosque muy húmedo tropical (bmh-T)	Ubicado en el municipio de Mutatá	Sande ( <i>Brosimum utile</i> ) Pacó ( <i>Cespedesia macrophylla</i> ) Cacao de monte ( <i>Pachira aquatica</i> )
Bosque seco tropical (bs-T)	Vegetación diseminada	Caracolí ( <i>Anacardium excelsum</i> ) Matarratón ( <i>Gliricidia sepium</i> ) Totumo ( <i>Crescentia cujete</i> ).
Bosque de galería	Bordes de las quebradas y caños en franjas de bosque con carácter protector	Higuerón ( <i>Picus insipida</i> ) Guadua ( <i>Guadua angustifolia</i> ) Indio desnudo ( <i>Bursera simaruba</i> )
<b>CARACTERÍSTICAS DEL SUELO</b>		

Relieves	Paisajes	Clasificación	Uso
La zona está localizada en su mayoría en relieve plano y ligeramente plano, con algunas inclusiones de relieve ligero y moderadamente escarpado	En la zona de estudio se encuentran los paisajes de piedemonte, planicie aluvial, planicie fluviomarina, planicie fluviolacustre y valle del río San Juan	Los suelos de la región, en su mayoría, pertenecen a los órdenes Inceptisol y Entisol	El 91% de las tierras de la zona de estudio tienen vocación agrícola y el restante 9% requiere intensas prácticas de conservación y establecimiento de usos agroforestales

Fuente: elaboración propia con base en Gobernación de Antioquia e IGAC (2007)

#### 6.2.2.5. Definición de impactos ambientales

- **Contaminación por emisiones de material particulado, gases y polvo**

En la etapa de construcción, este impacto ambiental es uno de los más relevantes puesto que se presenta en el proceso de adecuación del terreno, en actividades como excavaciones y demoliciones, en caso de ser necesarias, en la remoción de la capa vegetal, en el acopio inadecuado del material de excavaciones y el material de préstamo, en el transporte de material y en el trabajo de maquinaria pesada; asimismo, en la etapa de operación del proyecto.

La contaminación por emisiones a la atmósfera repercute en forma directa sobre la salud de las personas y las condiciones de vida de la fauna y la flora de la región que está siendo intervenida. Por esta razón es indispensable tener estructuradas



actividades o acciones que ayuden a minimizar las consecuencias de las emisiones causadas por el desarrollo del proyecto.

- **Erosión por remoción de cobertura vegetal**

El comportamiento del hombre en relación con el mal uso de los suelos tiene efectos negativos sobre este recurso, lo que genera la pérdida de fertilidad de los mismos y procesos de degradación y desertificación, con repercusión directa en la disminución y el deterioro de los recursos hídricos, la erosión y el cambio de las condiciones climáticas hacia condiciones más secas (Díaz Mendoza, 2011).

Los proyectos enmarcados en el desarrollo de vías terrestres o férreas implican, en su etapa de construcción, actividades en las que el recurso suelo se ve afectado, sobre todo en cuanto al acondicionamiento o perfilado del suelo, las excavaciones superficiales o de fundaciones y la construcción de obras para estabilización de laderas, entre otras posibilidades, que causan un significativo deterioro del suelo, pérdida de sus características físico-químicas y su estructura y efectos de erosión.

La erosión de los suelos se define como la pérdida físico-mecánica del suelo, con afectación en sus funciones y servicios ecosistémicos, que produce, entre otras, la reducción de la capacidad productiva de los mismos). La erosión es un proceso natural; sin embargo, esta se califica como degradación cuando se presentan actividades antrópicas no sostenibles que aceleran, intensifican y magnifican el proceso. Con la erosión del suelo, se pierden los nutrientes, la materia orgánica, la retención de humedad, la profundidad de los suelos, se disminuye la productividad, lo cual conllevan a la pobreza, la violencia y el desarraigo de la tierra (SIAC, 2017).

En vista de la problemática ambiental expuesta se debe buscar realizar procesos de recuperación de la cobertura vegetal del suelo e implementar medidas de control y mitigación de la erosión mediante el uso de mecanismos

que en lo posible sean lo más natural posible y no induzcan nuevos impactos ambientales (Díaz Mendoza, 2011).

- **Modificación del paisaje**

La modificación del paisaje se presenta como impacto no solo ambiental, sino socioespacial, pues se están transformando en el territorio los usos del suelo, del agua y del aire, y también las dinámicas culturales y sociales. Los impactos de índole paisajística se producen por los cambios en el uso del suelo, por ejemplo, el paso de tener un sueño destinado para la agricultura o la conservación de un bosque al desarrollo de ciudades o vías o a una explotación diferente.

La ocupación territorial realizada por los hombres, ya sea para la instalación de ciudades o para su explotación económica, ha hecho que gran parte del paisaje natural vaya disminuyendo. Estudios contemporáneos mencionan que la sociedad moderna, en el proceso de transformación del paisaje natural, ha tendido a producir degradación o deterioro en el medio ambiente, observándose extensas zonas erosionadas o afectadas por la desertificación, producto de la sobreexplotación de los recursos forestales, la contaminación en todas sus formas y las alteraciones climáticas por la emisión de gases contaminantes que han dañado la atmósfera (Dalles, 2012).

El desarrollo de una vía férrea es un proyecto de gran escala, que busca mejorar las relaciones económicas, turísticas, y sociales, lo que lo hace visible en muy alto grado en forma teórica, pero también geográfica, porque estaría atravesando montañas, selvas, y diferentes ecosistemas, para por último lograr la conexión. Además, las comunidades experimentarían una transformación en la percepción de los espacios que serían intervenidos, pero con el acercamiento necesario, de modo que hacer a la comunidad participe del proyecto, socializarlo y tener en cuenta sus

opiniones conduce a que el cambio no sea por añadidura un impacto negativo, sino positivo.

### 6.2.2.6. Impactos ambientales

En el desarrollo del presente estudio es de fundamental importancia considerar los impactos ambientales, socioeconómicos, culturales y paisajísticos para tener mayor claridad en la toma de decisiones de las etapas de pre inversión e inversión. Jorge Arboleda González (2008) define impacto ambiental como

El cambio que se ocasiona sobre una condición o característica del ambiente por efecto de un proyecto, obra o actividad y que puede ser benéfico o perjudicial, ya sea que la mejore o la deteriore, puede producirse en cualquier etapa del ciclo de vida de los proyectos y tener diferentes niveles de significancia (importancia) (Arboleda González, 2008).

Los impactos ambientales identificados en lo fundamental se evaluaron con base en la metodología propuesta por Conesa (1997), que se presenta en forma simplificada en Arboleda González (2008); ver la tabla 24. La metodología utiliza diferentes criterios a cada uno de los cuales se le asignó una calificación dependiendo de la característica del impacto en cada uno de ellos; a renglón seguido se halla la importancia del impacto que permitió saber cuáles eran más severos; ver tabla 25.

Tabla 24. Metodología para el estudio del impacto ambiental de CONESA

CRITERIOS	CALIFICACIÓN		CRITERIOS	CALIFICACIÓN	
Naturaleza	(+/-)	(+): Impacto benéfico (-): Impacto perjudicial	Momento	MO Plazo de manifestación	Largo plazo: 1 Medio Plazo: 2 Inmediato: 4
Intensidad	IN Grado de destrucción	Baja: 1 Media: 2 Alta: 4 Muy Alta: 8	Persistencia	PE	Fugaz: 1 Temporal: 2 Permanente: 4

Extensión	EX	Puntual: 1 Parcial: 2 Extensa: 4	Reversibilidad	RV	Corto plazo: 1 Mediano plazo: 2 Irreversible: 4
<b>CRITERIOS</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>		<b>CRITERIOS</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	
Sinergia	SI	Sin sinergismo: 1 Sinérgico: 2 Muy sinérgico: 4	Periodicidad	PR	Irregular: 1 Periódico: 2 Continuo: 4
Acumulación	AC (Incremento progresivo)	Simple: 1 Acumulativo: 4	Recuperabilidad	MC	Inmediato: 1 Mediano plazo: 2 Compensable: 4 Irrecuperable: 8
Efecto	EF	Indirecto: 1 Directo: 4			

Nota: MO= ..., IN = ..., PE = ..., EX = ..., RV = ..., SI = ..., PR = ..., AC = ..., MC = ..., EF = ...

Fuente: Arboleda González (2008)

La importancia del impacto se calcula con la siguiente fórmula:

$$I = (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

La interpretación de la Importancia ambiental se basa en la siguiente escala:

Irrelevante ( $I \leq 25$ ), moderado ( $25 < I < 50$ ), severo ( $50 < I < 75$ ) y crítico ( $I \geq 75$ ).

Tabla 25. Identificación y evaluación de posibles impactos ambientales

COMPONENTE	ASPECTO	IMPACTOS AMBIENTALES	(+/-)	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	IMPORTANCIA
Ambiental	Agua	Desvío de cauces por obras	-	2	4	2	4	4	4	1	4	1	4	Moderado

	Aporte de sedimentos a los sistemas hídricos	-	2	2	4	2	2	1	4	1	1	2	Moderado
	Alteración de la escorrentía superficial	-	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	Irrelevante
	Contaminación de las fuentes de agua por vertimientos	-	2	2	4	2	2	4	1	1	1	2	Moderado
<b>Suelo</b>	Pérdida de superficies	-	2	1	4	4	2	1	1	1	1	4	Moderado
	Modificación a las características del suelo	-	2	2	4	4	4	2	1	1	1	2	Moderado
	Contaminación por derrames	-	2	2	4	2	2	2	1	1	1	2	Irrelevante
	Consolidación e impermeabilización del suelo	-	4	1	2	4	4	2	4	4	4	2	Moderado
<b>Aire</b>	Emissiones de material particulado	-	8	4	4	4	4	4	4	4	4	8	Severo
	Combustión de gases por maquinaria	-	4	2	4	2	4	2	1	1	1	1	Moderado
	Generación de ruido	-	4	2	4	2	2	2	1	1	2	2	Moderado
<b>Residuos</b>	Generación de todo tipo de residuos y escombros	-	4	2	4	2	2	2	1	4	2	2	Moderado

	<b>Vegetación</b>	Erosión por remoción de cobertura vegetal	-	8	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	Severo
		Tala de especies arbóreas	-	4	2	2	2	2	2	1	1	4	4	Moderado	
	<b>Fauna</b>	Desplazamiento de especies	-	4	4	2	4	2	1	1	1	4	4	Moderado	
<b>Paisajístico</b>	<b>Paisaje</b>	Modificación del paisaje	-	8	4	2	4	4	4	4	4	4	8	Severo	

Fuente: elaboración propia

Se evaluaron de manera subjetiva, con información de condiciones físicas, climáticas y ambientales, entre otras, del Urabá antioqueño y al tener en cuenta las características del proyecto, un total de 16 impactos ambientales, de los cuales tres tuvieron calificación de severo, 11 de moderado y dos de irrelevante.

Por otro lado, se identificaron los posibles impactos del componente socioeconómico y cultural, que se presentan en la tabla 26.

Tabla 26. Impactos socioeconómicos y culturales

<b>Socioeconómico y cultural</b>	<b>Salud</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Afectaciones a la salud por material particulado producido en las etapas de operación y construcción, posibles contaminaciones de fuentes hídricas y contaminación del suelo por mala disposición de residuos sólidos</li> <li>- Menores costos en medicamentos</li> </ul>
	<b>Empleo</b>	Generación de empleo en la etapa de construcción y operación del proyecto

	<b>Educación</b>	Menores tiempos de desplazamiento de los estudiantes para los colegios en las diferentes localidades
	<b>Cultura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desinformación de la comunidad acerca del proyecto</li> <li>- Creación de nuevas dinámicas culturales</li> <li>- Solidez en la cadena productiva turística</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

### 6.2.2.7. Plan de manejo ambiental

Los impactos del desarrollo de una vía férrea entre el Urabá y Medellín dependen de las características propias del proyecto, de su entorno, de las condiciones climáticas durante la obra y del tipo de tecnología empleada para su construcción, entre otros aspectos. Para lograr una minimización completa de los impactos ambientales generados por el proyecto se elaboró un plan de manejo ambiental, que presenta medidas de mitigación, prevención y corrección y, si el impacto ambiental es grave, de compensación ambiental.

Las siguientes medidas se tomaron de acuerdo con las recomendaciones planteadas en AMVA, Alcaldía de Medellín y EPM (2009) y en Alcaldía de Medellín (2013).

Tabla 27 Medidas de prevención

<b>Medidas de prevención</b>	
<b>Agua</b>	<b>Suelo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservar en lo posible los retiros de las fuentes de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir movimientos de tierra</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar obras de drenaje; de ya existir, cubrirlas para evitar obstrucción</li> <li>• Capacitar a los operarios, a los contratistas y al personal administrativo sobre el uso adecuado y el ahorro del agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar un diseño acorde con las características geográficas de la región</li> </ul>
<b>Vegetación</b>	<b>Fauna</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar la tala de árboles</li> <li>• Mantener un área verde lo mayor posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar un inventario de especies</li> <li>• Identificar posibles hábitats a los cuales se podrían trasladar las especies de ser necesario</li> </ul>
<b>Aire</b>	<b>Residuos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contratación de maquinaria y equipos para la ejecución de la obra nuevas o con un tiempo de uso no superior a diez años</li> <li>• Solicitar certificado de gases y tecnomecánico vigente a los vehículos que serán contratados</li> <li>• Adecuar sitios para el almacenamiento de material que pueda generar emisiones de material particulado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitar a los operarios, a los contratistas y al personal administrativo en el manejo de los residuos sólidos dentro de la obra</li> <li>• Solicitar permisos ambientales y municipales de escombreras y rellenos sanitarios</li> <li>• Elaborar un cronograma de recolección de residuos sólidos</li> </ul>
<b>Paisaje</b>	<b>Social</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservar en lo posible los retiros de las fuentes de agua</li> <li>• Desarrollar un diseño de la obra que esté de acuerdo con las características paisajísticas de la región.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicar y hacer partícipe a la comunidad que habita los alrededores del proyecto</li> </ul>

Fuente: elaboración propia



Tabla 28 Medidas de mitigación

<b>Medidas de mitigación</b>	
<b>Agua</b>	<b>Suelo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar agua lluvia para actividades de la obra</li> <li>• Tener un manejo adecuado de las aguas en la obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar obras para el montaje de la maquinaria de forma que prevenga la contaminación del suelo</li> <li>• Reducir movimientos de tierra</li> </ul>
<b>Vegetación</b>	<b>Fauna</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar suelo orgánico removido</li> <li>• Mantener un área verde lo mayor posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar un inventario de especies</li> </ul>
<b>Aire</b>	<b>Residuos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservar en lo posible los retiros de las fuentes de agua</li> <li>• Restringir las actividades de construcción y ejecución de la obra en las que se genere mucho ruido</li> <li>• Realizar mantenimientos preventivos de la maquinaria y los equipos cada seis meses para garantizar un desempeño eficiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar una adecuada separación de los residuos sólidos ordinarios, especiales, tóxicos, y de construcción.</li> <li>• Generar un aprovechamiento de plásticos, vidrio, papel y especiales.</li> <li>• Aforo de los residuos sólidos generados para evaluar la efectiva separación.</li> <li>• Hacer uso de materiales locales.</li> </ul>
<b>Paisaje</b>	<b>Social</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hacer uso de <i>saran</i> u otro tipo de alternativa para causar el menor impacto visual posible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tener en cuenta las PQR (peticiones, quejas y reclamos) de la comunidad en cuanto a la construcción y la operación del proyecto</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

Tabla 29 Medidas de corrección

<b>Medidas de corrección</b>	
<b>Agua</b>	<b>Suelo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conservar en lo posible los retiros de las fuentes de agua</li> <li>• Realizar limpiezas en cauces cuando presenten sedimentos o contaminantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retirar el suelo contaminado y disponerlo de la manera más adecuada</li> </ul>
<b>Vegetación</b>	<b>Fauna</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar el suelo orgánico almacenado para la adecuación de espacios verdes</li> </ul>	No aplica
<b>Aire</b>	<b>Residuos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar pantallas antirruído</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reutilizar al máximo elementos demolidos</li> <li>• Realizar tratamiento a los lixiviados antes de la disposición final de los residuos</li> </ul>
<b>Paisaje</b>	<b>Social</b>
No aplica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brindar solución efectiva a las PQR</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

Tabla 30 Medidas de compensación

<b>Medidas de compensación</b>	
<b>Agua</b>	<b>Suelo</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar pagos de tasas retributivas por vertimientos y tasas de uso del agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rehabilitar los suelos para garantizar su fertilidad</li> </ul>
<b>Vegetación</b>	<b>Fauna</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar siembras de pasto vetiver para evitar la erosión del suelo y devolverle sus características</li> <li>Sembrar especies que aporten beneficios al suelo y a la calidad del aire y que reemplacen las que fueron removidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retornar especies a hábitats naturales que sean de su completa compatibilidad</li> </ul>
<b>Aire</b>	<b>Residuos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sembrar especies que aporten beneficios al suelo y a la calidad del aire y que reemplacen las que fueron removidas</li> </ul>	No aplica
<b>Paisaje</b>	<b>Social</b>
No aplica	No aplica

Fuente: elaboración propia

### 6.2.2.8. Análisis de costos ambientales – flujo de costos

Tabla 31. Análisis de costos ambientales

RECURSO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>1. PERSONAL</b>				
Ingeniero ambiental	1	Personal	\$3.000.000,00	\$3.000.000,00
Técnico ambiental	3	Personal	\$1.200.000,00	\$3.600.000,00
Auxiliar logístico	5	Personal	\$900.000,00	\$4.500.000,00
<b>2. TRÁMITES AMBIENTALES</b>				
Licencia ambiental	1	Trámite	\$4.000.000,00	\$4.000.000,00
Permiso para aprovechamiento forestal	1	Trámite	\$1.000.000,00	\$1.000.000,00
<b>3. MATERIALES</b>				

3.1. Manejo de residuos				
Contenedor para la separación	30	Unidad	\$80.000,00	\$2.400.000,00
Servicio público de aseo	12	Recolección cada mes	\$300.000,00	\$3.600.000,00
Señalización	15	Unidad	\$8.000,00	\$120.000,00
Elemento para la contención de líquidos	10	Unidad	\$800.000,00	\$8.000.000,00
Herramienta para capacitación	100	Unidad	\$13.000,00	\$1.300.000,00
3.2. Control de emisiones				
<i>Saran</i> para cerramiento	10	rollo	\$196.000,00	\$1.960.000,00
Plástico o lona para cobertura	5	Rollo	\$198.000,00	\$990.000,00
Revisión mecánica de vehículos	5	Revisión	\$257.000,00	\$1.285.000,00
Pantalla antirruído	3	Unidad	\$3.000.000,00	\$9.000.000,00
3.3. Protección del suelo				
Obras de geotecnia	10	Unidad	\$3.000.000,00	\$30.000.000,00
Manutención de cobertura vegetal	1	Manutención	\$500.000,00	\$500.000,00
Entibado	30	Unidad	\$200.000,00	\$6.000.000,00
Análisis de suelos	3	Análisis	\$2.400.000,00	\$7.200.000,00
3.4. Protección de cuerpos de agua				
Servicio de saneamiento	100	m <sup>3</sup>	\$2.640,00	\$264.000,00
Caneca para recolección de agua lluvia	10	Unidad	\$42.000,00	\$420.000,00
Medidor para el consumo de agua	5	Unidad	\$60.000,00	\$300.000,00
Mantenimiento de sumideros afectados	10	Limpieza	\$23.000,00	\$230.000,00
Limpieza de vías afectadas	20	Limpieza	\$15.000,00	\$300.000,00
3.5. Vegetación, fauna y paisaje				
Trasplante de árboles	320	Trasplante	\$56.000,00	\$17.920.000,00
Individuo arbóreo	800	Unidad	\$3.000,00	\$2.400.000,00
Tierra y abono	100	Kilo	\$3.500,00	\$350.000,00
<b>TOTAL</b>				\$110.639.000,00
<b>Duración (meses)</b>				2
<b>COSTO TOTAL</b>				\$221.278.000,00

Fuente: elaboración propia

### 6.2.2.9. Plan de seguimiento y monitoreo

El plan de monitoreo y seguimiento se debe implementar con el objetivo de verificar y garantizar el cumplimiento de las acciones propuestas para la gestión ambiental del proyecto. A continuación se hace referencia a una serie de indicadores extraídos de Alcaldía de Medellín (2013) para la construcción de obras de infraestructura pública y a unos formatos que facilitarán la correspondiente cuantificación.

Los indicadores a los que se hace referencia (resultantes de medidas aritméticas de tipo cuantitativo) permiten identificar cambios en el tiempo y dan la posibilidad de evaluar los consumos de recursos naturales o la generación de residuos en los diferentes estados físicos. A su vez, facilitan la toma de decisiones para llevar a cabo acciones conducentes al mejoramiento continuo en la gestión socioambiental (Alcaldía de Medellín, 2013).

- **Residuos sólidos**

Fecha	Tipo de residuo generado	Cantidad (kg)
	<b>Total</b>	

$$\left( \frac{\text{Kg. Residuos ordinarios dispuestos adecuadamente}}{\text{Kg. Residuos totales generados}} \right) \times 100$$

$$\left( \frac{\text{Kg. Residuos reciclados}}{\text{Kg. Residuos totales generados}} \right) \times 100$$

$$\left( \frac{\text{Kg. Residuos peligrosos dispuestos adecuadamente}}{\text{Kg. Residuos totales generados}} \right) \times 100$$

$$\left( \frac{m^3 \text{ RCD dispuestos adecuadamente}}{m^3 \text{ Residuos totales generados}} \right) \times 100$$

- **Emisiones atmosféricas**

Fecha de ingreso de vehículo	¿Cuenta con revisión tecnicomecánica vigente?	
	Sí	No

$$\left( \frac{N^{\circ} \text{ de vehículos con certificación técnica y de gases vigente}}{N^{\circ} \text{ de vehículos empleados}} \right) \times 100$$

- **Protección del suelo**

Fecha	Número de metros lineales entibados	Fecha	Número de m <sup>3</sup> de área revegetalizada
<b>Total</b>		<b>Total</b>	

$$\left( \frac{\text{Metros lineales de entibados realizados}}{\text{Metros lineales de entibados requeridos}} \right) \times 100$$

$$\left( \frac{m^3 \text{ de área revegetalizada}}{m^3 \text{ de área total a revegetalizar}} \right) \times 100$$

- **Protección del suelo**

Fecha	Nombre del cauce	Caudal (l/s)	Coordenadas (x,y)	¿Se construyó trincho?	
				Sí	No

$$\left( \frac{\text{Número de cauces protegidos}}{\text{Número de cauces a proteger}} \right) \times 100$$

$$\left( \frac{\text{Metros lineales de trinchos ejecutados}}{\text{Metros lineales de trinchos requeridos}} \right) \times 100$$

- **Gestión de fauna y flora**

Número de árboles talados		Número de árboles trasplantados		Número de árboles sembrados	
Especie	Coordenadas (x,y)	Especie	Coordenadas (x,y)	Especie	Coordenadas (x,y)

Fecha	Área de cobertura vegetal removida	Área de cobertura vegetal conservada	Área de cobertura vegetal reutilizada

$$\left( \frac{\text{Número de árboles talados}}{\text{Número de árboles autorizados por talar}} \right) \times 100$$

$$\left( \frac{\text{Área de cobertura vegetal conservada y reutilizada}}{\text{Área de cobertura vegetal removida}} \right) \times 100$$

$$\left( \frac{\text{Número de árboles trasplantados}}{\text{Número de árboles autorizados por transplante}} \right) \times 100$$

$$\left( \frac{\text{Número de árboles sembrados}}{\text{Número de árboles requeridos por sembrar}} \right) \times 100$$

- **Cumplimiento de medidas ambientales establecidas**

INDICADOR	FÓRMULA
-----------	---------

<p>Nivel de cumplimiento</p>	$\left(\sum_{i=1}^n a_i\right) / n$ <p>Donde  <math>a_i</math> = porcentaje de avance de la medida i  <math>n</math> = número de medidas ambientales establecidas</p>
------------------------------	---

Este indicador funciona como medida de control para el ejecutor de la obra, y para la interventoría en sus funciones de verificación (Alcaldía de Medellín, 2013); de esta manera se realiza un control sobre los recursos naturales y los principales impactos que de una u otra manera se le estarían causando al medio ambiente.

### 6.2.3. Marco legal

Organización jurídica: según el artículo 7° del decreto 3110 de 1997, se acudiría a la figura de contrato de concesión adjudicado mediante licitación pública por ser un proyecto de transporte ferroviario público de gran magnitud, que beneficiaría en varios aspectos el transporte de la región y del país. En cuanto a la empresa que desarrollaría el proyecto, sería del tipo de las sociedades por acciones simplificadas (S. A. S.) porque ofrece un verdadero poder analítico a las empresas que manejan altos volúmenes de datos y extrae la información esencial para facilitar el proceso de toma de decisiones mediante la utilización de modelos predictivos y descriptivos, pronósticos, simulación y optimización (SAS "The power to know", 2017).

Requisitos legales:



Tabla 32. Requisitos legales

<b>General</b>	<b>Impuestos, DIAN, cámara de comercio, ...</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de viabilidad técnica para ubicación de estaciones de servicio en vías nacionales concesionadas</li> <li>• Concepto de viabilidad técnica para transporte de carga indivisible extradimensionada y extrapesada</li> <li>• Aviso de los contratos que celebren los concesionarios con terceros para la prestación de servicios auxiliares (Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal (2011))</li> <li>• Póliza de seguros de responsabilidad civil contractual y extracontractual que ampare los siguientes riesgos:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Muerte, incapacidad total y permanente, incapacidad temporal y gastos médicos y de hospitalización</li> <li>2. Daño o pérdida de las mercancías de conformidad con las normas aplicables al contrato de transporte</li> </ol> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Certificado emitido por cámara de comercio</li> <li>• Certificados de la DIAN en los que se autorice el transporte de las diferentes cargas por el Urabá antioqueño</li> </ul>
<b>Operación</b>	<b>Ambiental</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiso de operación emitida por el Ministerio de Transporte</li> <li>• Registro de tarifas ferroviarias y de servicios auxiliares (Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal (2011))</li> <li>• Programa anual de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos</li> <li>• Ficha técnica de mantenimiento por cada uno de los equipos que contenga, entre otros requisitos, la identificación del mismo, la fecha de revisión, las reparaciones efectuadas, los reportes, el control y el seguimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Licencia ambiental</li> <li>• Plan de manejo ambiental</li> <li>• Permiso de aprovechamiento forestal</li> <li>• Salvoconducto único nacional para la movilización de</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplir las normas internacionales en materia de manipulación, transporte y almacenamiento de mercancías</li> <li>• Los equipos deben contar con las especificaciones técnicomecánicas que exigen las normas internacionales y del fabricante</li> <li>• El personal operador o auxiliar del equipo deberá someterse a exámenes médicos, teóricos, técnicos y prácticos en la especialidad correspondiente</li> </ul>	<p>especímenes de diversidad biológica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permiso de ocupación de cauces, playas y lechos</li> </ul>
--	--

Fuente: elaboración propia

Gestión contractual: en el estudio de prefactibilidad del proyecto de línea férrea, en la etapa de operación, con base en el cumplimiento de todos los objetivos y el desarrollo de las actividades, se estarían celebrando y manejando todo tipo de contratos; para ello sería necesario plantear una gestión de las adquisiciones y contrataciones en los procesos de trabajo.

Para obtener un mejor resultado en la gestión de las adquisiciones y contrataciones Bara (2017) plantea los siguientes pasos, que se tomarían como una de las bases en el planteamiento y el desarrollo del proyecto.

1. Conocer en detalle el proceso de compras y adquisiciones, saber exactamente cuáles mecanismos y procedimientos internos, cuál tiempo lleva y cuáles personas jugarán un papel principal.
2. Entender los términos y las condiciones de cada contrato.
3. Asegurarse de que el contrato contiene todos los requisitos de la gestión del proyecto, tales como asistencia a reuniones, informes y comunicaciones necesarios.
4. Identificar riesgos e incorporar en el contrato acciones de mitigación y reparto de riesgos.
5. Ayudar a que el contrato esté confeccionado a la medida de las necesidades del proyecto.

6. Ajustar el cronograma del proceso de contratación y adquisiciones al cronograma del proyecto.
7. Involucrarse en la negociación del contrato para proteger la relación con el proveedor.
8. Durante el curso del trabajo, proteger la integridad del proyecto mediante el monitoreo para que el trabajo del contrato sea realizado.
9. Defender el cumplimiento de todos los términos del contrato.
10. Trabajar con la dirección de compras con el fin de gestionar los cambios del contrato, si se producen durante el transcurso del trabajo.

En el marco de las diferentes contrataciones por realizar, se contaría con apoyo de especialistas jurídicos durante todo el proceso, que elaborarían en forma detallada los términos y las condiciones. De esta manera, se reduciría el riesgo asumido por el contratante y por el contratista, además de desacuerdos posteriores o cambios fortuitos. Según Bara (2017), se tendrían los siguientes tipos de contratos:

1. **Contratos de precio fijo (*fixed-price or lump-sum*):** esta categoría supone definir un precio fijo y debe aplicarse para un producto bien definido. Hay diferentes tipos de contratos de precio fijo en función de las cláusulas de ajuste de precios o de incentivos que se acuerden entre las partes.
2. **Contratos de costos reembolsables (*cost-reimbursable contracts*):** esta categoría implica el pago o reembolso al vendedor o proveedor de sus costos reales, más unos honorarios que suponen, en general, la ganancia del vendedor. Estos contratos pueden incluir cláusulas de incentivos en virtud de las cuales, si el proveedor o vendedor cumple o supera determinados objetivos recibe del comprador o cliente una bonificación.
3. **Contratos por tiempo y materiales (*time and material*):** los contratos de esta categoría son un tipo híbrido de acuerdo contractual que contiene aspectos, tanto de los contratos de costos reembolsables como de los contratos de precio fijo. Al igual que los contratos de costos reembolsables,

son abiertos puesto que el valor total del acuerdo y la cantidad exacta de artículos que deberán ser entregados no los define el comprador en el momento de la firma y dependen del volumen del proyecto por ejecutar. Se asemejan a los contratos de precio fijo en los que las partes establecen por anticipado tarifas unitarias para cada recurso por utilizar.

En adición a lo anterior, la empresa que desarrollaría el proyecto de línea férrea entre el Urabá antioqueño y Medellín tendría un reglamento interno de contratación, en el que se tendrían en cuenta los montos de cada contrato, que responderían al proceso de construcción de la línea férrea.

Normatividad: en la tabla 33 se plantea, de manera general para el proyecto, la normativa que rige el desarrollo del mismo, en cuanto a territorio, bienes públicos y aspectos del transporte ferroviario en Colombia. Además, se realizó con base en Ministerio de Transporte y Consorcio Epypsa-Ardanuy (2012).

Tabla 33. Normatividad legal

<b>Normativa</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
Constitución Nacional	1991	Artículo 102 “El territorio, con los bienes públicos que de él forman parte, pertenecen a la Nación”
Manual de normatividad férrea	2013	Elaboración de capítulos de normatividad férrea para Colombia que tienen en cuenta aspectos técnicos de diseño, construcción, operación y control ferroviario, así como la complementación del glosario de términos técnicos ferroviarios, con el objetivo de regular las especificaciones mínimas de diseño que deberán ser utilizadas o acatadas por las empresas de construcción, mantenimiento y operación férrea en el territorio nacional
Decreto 3110	1997	Reglamenta la habilitación y la prestación del servicio público de transporte ferroviario

Decreto 1075	1954	Por el cual se dictan algunas disposiciones relacionadas con el ramo de ferrocarriles
Ley 146	1963	Precisa los criterios para la construcción de vías con el fin de evitar la existencia de los pasos a nivel sobre las vías férreas
Ley 105	1993	Dicta disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las entidades territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones
Ley 336	1996	Por la cual se adopta el estatuto nacional de transporte
Ley 769	2002	Expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones
Decreto ley 1587	1989	Dicta normas generales para la organización y la operación del sistema de transporte público ferroviario nacional
Decreto 2171	1992	Reestructura el Ministerio de Obras Públicas y Transporte como Ministerio de Transporte y se suprimen, fusionan y reestructuran entidades de la rama ejecutiva del orden nacional
Decreto 3109	1997	Reglamenta la habilitación, la prestación del servicio público de transporte masivo de pasajeros y la utilización de los recursos de la Nación
Resolución 353	1996	Se fijan tarifas de peajes para el transporte de carga en el modo férreo durante el tiempo de rehabilitación de la vía férrea
Resolución 241	2011	Por la cual se fija el procedimiento para el otorgamiento de los permisos para el uso, la ocupación y la intervención de la infraestructura férrea nacional concesionada

Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Transporte y Consorcio

Epypsa-Ardanuy (2012)

Tasa impositiva: para una óptima evaluación financiera es importante tener en cuenta dos impuestos de suma trascendencia para dicha evaluación: el impuesto a

la renta y el de industria y comercio; según la DIAN (2017), el impuesto sobre la renta grava todos los ingresos que obtenga cada contribuyente en un período; es un impuesto de orden nacional puesto que tiene cobertura en todo el país (DIAN, 2017); el porcentaje por aplicar con este impuesto es del 34% sobre la utilidad.

Además, a este impuesto se le agrega una sobretasa con diferente porcentaje según sea alguno de los siguientes casos:

- La tarifa de la sobretasa será del 0% para los contribuyentes que tengan una utilidad entre \$0 y \$800.000.000 millones.
- La tarifa de la sobretasa será del 6% para el año 2017 y se reducirá al 4% para el año 2018, para los contribuyentes que tengan una utilidad igual o superior a \$800.000.000 millones.

El impuesto de industria y comercio debe ser pagado y declarado por todas las personas naturales y jurídicas que realicen cualquier actividad comercial; sobre la base gravable definida en el artículo 342 de la ley 1819 de 2016 se aplicará la tarifa que determine los concejos municipales de acuerdo con los siguientes límites:

- Del dos al siete por mil para actividades industriales.
- Del dos al diez por mil para actividades comerciales y de servicios.

Para el caso de estudio, se aplicará una tarifa del dos al diez por mil; de manera específica, un seis por mil para el transporte férreo o por carretera de carga, puesto que en el acuerdo 066 del 2017 del Municipio de Medellín se estableció dicha tarifa.

### **6.3. Actividades relativas a la utilidad**

#### **6.3.1. Estudio organizacional del proyecto**

Con base en el objeto del trabajo de investigación, que es el estudio en la fase de prefactibilidad para el desarrollo de un sistema férreo entre Medellín y el Urabá

antioqueño, al tener en cuenta los parámetros de la metodología de la ONUDI, se planteó que, desde el punto de vista organizacional, el proyecto se realizaría bajo la imagen de una alianza público-privada (APP), que le permite al proyecto contar con mejores inversiones, eficiencia en el contrato y adquisición de recursos, por lo que se estarían dividiendo las responsabilidades entre un ente público y uno privado. Por otro lado, el proyecto se estructuró según la modalidad de *Project Finance*. Para entrar en detalle de la forma en la que se planteó el proyecto desde el punto de vista organizacional, se explican a continuación las dos figuras antes mencionadas, sus ventajas y sus requisitos y cómo las mismas son las más apropiadas para el proyecto de línea férrea entre Medellín y el Urabá antioqueño.

#### **6.3.1.1. Alianza público-privada**

Dada la envergadura del proyecto, será llevado a cabo como una alianza público-privada (APP), que es un acuerdo entre los sectores público y privado en el que se comparten responsabilidades en la ejecución del proyecto. Asimismo, sirve para proveer de recursos a los proyectos de infraestructura y sociales.

Según el Congreso de Colombia, en la ley 1508 de 2012, las APP se definen como:

Un instrumento de vinculación de capital privado, que se materializan en un contrato entre una entidad estatal y una persona natural o jurídica de derecho privado, para la provisión de bienes públicos y de sus servicios relacionados, que involucra la retención y transferencia, riesgos entre las partes y mecanismos de pago, relacionados con la disponibilidad y el nivel de servicio de la infraestructura y/o servicio (Congreso de Colombia, 2012).

#### **Marco normativo de las APP**

En la tabla 34, presentada a continuación, se relacionan las leyes, las resoluciones, los decretos y los acuerdos que rigen las alianzas público-privadas en Colombia.

Tabla 34 Normativa de las APP

<b>Norma</b>	<b>Año</b>	<b>Objeto</b>
Resolución 1464 (Departamento Nacional de Planeación)	2016	Se establecen requisitos y parámetros que deberán cumplir las entidades públicas responsables del desarrollo de proyectos de asociación público-privada para solicitar el concepto previsto en el artículo 206 de la ley 1753 de 2015.
		Anexo No 1. Evaluación y priorización de proyectos de asociación público-privada
Ley 1508	2012	Por la cual se establece el régimen jurídico de las asociaciones público-privadas, se dictan normas orgánicas de presupuesto y se dictan otras disposiciones
Resolución 3656(Departamento Nacional de Planeación)	2012	Parámetros para la evaluación del mecanismo de APP como una modalidad de ejecución de proyectos.
Decreto 1082	2015	Título 2. El presente título reglamenta la estructuración y ejecución de los proyectos de Asociación Público Privada tanto de iniciativa pública como privada a los que se refiere la ley 1508 de 2012 (decreto 1467 de 2012, artículo 1).
Ley 80	1993	Por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública



Ley 1150	2007	Introduce modificaciones en la ley 80 de 1993, así como dicta otras disposiciones generales aplicables a toda contratación con recursos públicos
Acuerdo 038 (Comisión Rectora del Sistema General de Regalías)	2016	Requisitos de viabilizarían y aprobación proyectos de inversión bajo el esquema app – regalías.

Fuente: elaboración propia

Las principales características que tienen las alianzas APP se evidencian en el traslado de los riesgos entre las partes (pública y privada) a los que se enfrente el proyecto por ejecutar, en impulsar mayores inversiones en desarrollos de proyectos de infraestructura y también en aportar grandes beneficios, tanto para el sector privado como para el público, en cuanto a eficiente gestión del contrato o proyecto. Para su estructuración, la entidad pública encarga un inversionista privado el diseño y la construcción, la reparación y el mejoramiento o equipamiento, así como la operación y el mantenimiento de una infraestructura y sus servicios asociados (DNP, 2000).

### Ventajas de las APP

- No se paga si el servicio no es bueno  
Las APP facilitan la provisión y el mantenimiento de infraestructura, de acuerdo con unos parámetros de disponibilidad y calidad.
- Cumplimiento del plazo de construcción  
No hay anticipos. El pago se realiza de acuerdo con el cumplimiento y la disponibilidad del servicio.
- No se invierte en proyectos inmaduros

Adecuada estructuración de proyectos en cuanto a estudios, análisis de riesgos, evaluación socioeconómica y justificación de la modalidad de contratación.

- Precios realistas

Se limitan las adiciones en recursos al 20% del valor del contrato (DNP, 2017).

En la tabla 35 se presenta la comparación entre la ley vigente y la derogada sobre el manejo de APP en Colombia, con base en DNP (2017).

Tabla 35 Comparativo de la normativa sobre las APP

<b>ANTES: LEYES 80 DE 1983 Y 1150 DE 2007</b>	<b>AHORA: LEY 1508 DE 2012</b>
El pago se realiza con independencia del cumplimiento del servicio	El pago se realiza de acuerdo con el cumplimiento del servicio
Ley 80 de 1993: adiciones de 50% Ley 1150 de 2007: adiciones limitadas al 60%	Se limitan las adiciones en tiempo y recursos al 20% del valor del contrato
Se pagaba por obras	Se paga por los servicios que presta la infraestructura
No se analizaba cuál era la mejor modalidad para ejecutar el proyecto	Se exige por ley justificar la modalidad de ejecución
No se hacía diferencia entre quién financiaba y quién construía	Los requisitos habilitantes son capacidad legal, capacidad financiera y experiencia en inversión o estructuración

Los proyectos no estaban siendo diseñados para inversionistas institucionales y financieros	Se incentiva un esquema para atraer inversionistas institucionales y financieros
---	--

Fuente: elaboración propia con base en DNP (2017)

La ley de APP contiene, según el Departamento Nacional de Planeación, los siguientes ítems:

### **Disposiciones generales**

1. Ley de APP de carácter transversal – Proyectos mínimo de 6.000 salarios mínimos mensuales legales vigentes (SMMLV).
2. Plazo máximo incluidas prórrogas – 30 años.
3. Límite a adiciones con recursos públicos y a prórrogas hasta de 20% del valor del contrato.
4. Aportes de la Nación según disponibilidad de servicio.

### **APP de iniciativa privada (concesión de vía férrea)**

Recursos: desembolso de recursos públicos hasta del 30%.

Proceso de selección: licitación pública.

### **Disposiciones comunes de los proyectos de APP**

1. Administración de los recursos de los proyectos a través de patrimonios autónomos.
2. Creación de registro de APP.
3. Creación de tipología de vigencias futuras para asumir compromisos presupuestales en proyectos de APP.
4. Reversión de la infraestructura.

Por la magnitud del proyecto, se presentó con la figura de concesión de vía férrea, por ser ejecutado por un ente privado en respuesta a una necesidad pública de la

subregión de Antioquia. En este caso, el ente privado y el público tendrían la tarea de administrar, mejorar, mantener y vigilar todos los aspectos referentes a la vigencia del contrato.

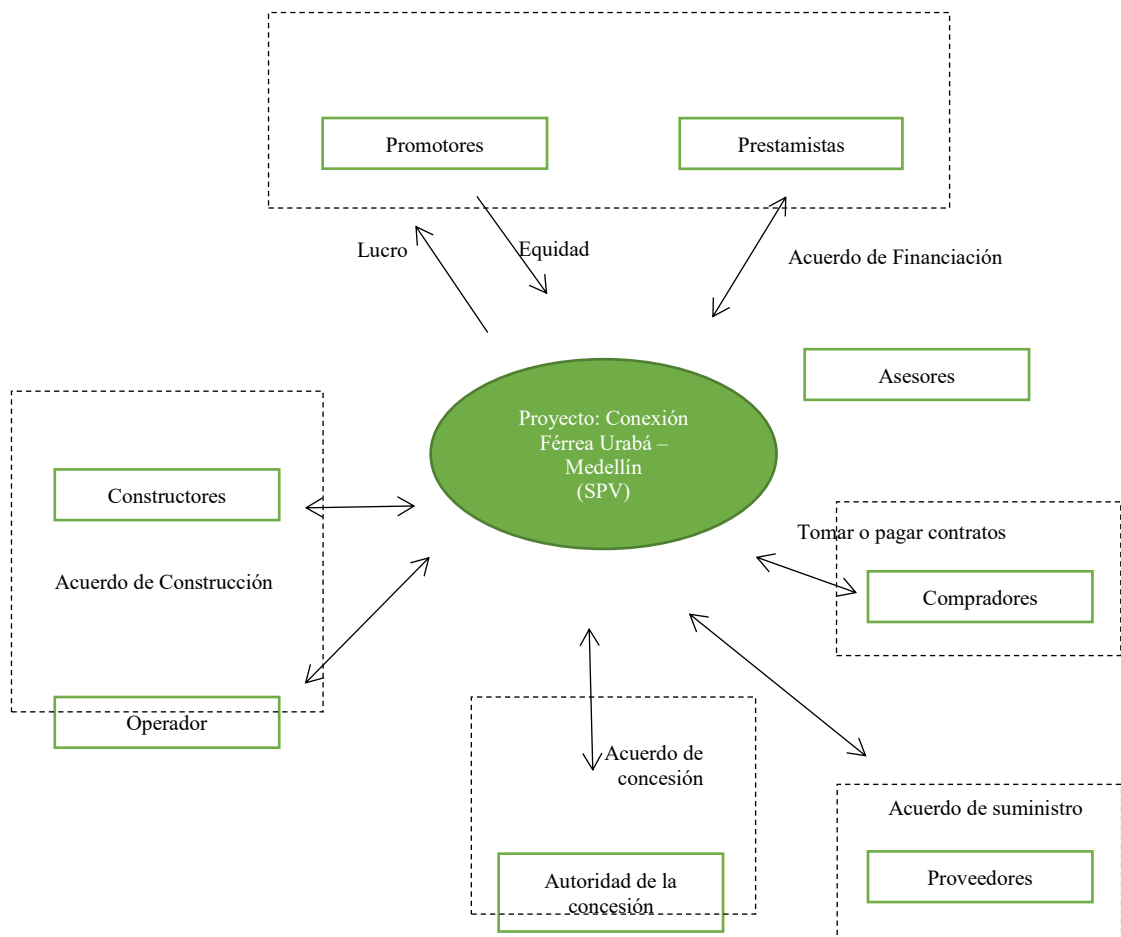
Es de aclarar que el alcance ejecutado en la totalidad del contrato por el contratista se limita al desarrollo de la línea férrea entre Medellín y la subregión del Urabá antioqueño para de esta manera garantizar la movilización de pasajeros y carga de acuerdo con las operaciones planeadas por el privado (ANI, 2015b).

### **6.3.1.2. Project Finance**

El estudio de prefactibilidad propuesto plantea para el proyecto una estructuración organizacional, contractual y financiera a través del modelo *Project Finance*. Según Esty (2004), citado en Gómez Salazar y Díez Benjumea, en su recopilación de definiciones de *Project Finance*, se refiere a la creación de una firma de tipo *project* es decir, con independencia legal y económica, que se financiará con deuda sin recurso o con recurso limitado y con capital de una o varias compañías patrocinadoras, con el propósito de invertir en un proyecto particular. De esta manera, los flujos de caja se mantienen alejados de los balances del patrocinador. En otras palabras, es un método de financiación en el que los actores involucrados no se ven afectados por los balances financieros puesto que se espera que el proyecto genere altos flujos para su financiamiento.

En la ilustración 31 se muestran los diferentes interesados del proyecto, organizados según la estructura de un *Project Finance* en la que cada uno de ellos tiene un rol específico dentro del proyecto que permite el desarrollo del mismo.

Ilustración 31 Estructura de un *Project Finance*



Nota: SPV = vehículo de propósito especial (*special purpose vehicle*)

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con González (2007), citado en Gómez Salazar y Díez Benjumea (2015), existen diversos actores que participan en las etapas del proyecto en el esquema del *Project Finance*:

**- Vehículo de propósito especial (SPV):**

Es una figura que, a través de una sociedad comercial o un contrato de fiducia mercantil, constituye un ente jurídico independiente del patrocinador, cuyo propósito principal es desarrollar una actividad de infraestructura que garantice flujos de caja futuros y, a su vez le, permita saldar las obligaciones y garantizar la rentabilidad (Zúñiga Aguilar, 2012). Esta figura es la que se encarga de integrar, en forma contractual, a los diferentes participantes en el proyecto.

**Ente concedente:** es el ente público encargado de otorgar las concesiones para los diferentes proyectos de infraestructura.

En la tabla 32 se muestran algunos de los acuerdos de concesión en los que el Estado puede llegar a acordar con el SPV, en los que por lo general los contratos son de uno de los tipos siguientes: *build, operate, own and transfer* (BOOT), *build, operate, transfer* (BOT) y *build, own, operate* (BOO).

Ilustración 32 Modalidades de contratos

MODALIDAD	CARACTERÍSTICAS
BOOT	La sociedad construye, se adueña de proyecto, adquiere ganancias y al final lo transfiere al Estado
BOT	La sociedad construye, opera, adquiere ganancias y después de cierto tiempo revierte la operación al dueño del proyecto

BOO	La sociedad construye, opera y obtiene ganancias; no es significativo transferirlo puesto que su operación es igual que su vida útil
-----	--

Fuente: elaboración propia

**Patrocinador (*sponsor*) o promotor:** es el licitante (en este caso es el que propone la iniciativa al ente concedente) y desarrollador del proyecto; por lo general corresponde a asociaciones o a uniones de diferentes actores de la industria de la construcción y del sector financiero.

**Entidades financieras privadas:** son las encargadas de liderar las asesorías (estructuración) y proveer de recursos necesarios para la ejecución de los proyectos.

**Entidades financieras públicas:** pueden suplir las necesidades de una entidad financiera; cuentan con el respaldo del sector público e incentivos en cuestión de tasas y plazos de crédito más amplios.

**Asesores:** son los profesionales que realizan la revisión del marco normativo de los temas presupuestales de los proyectos y suelen ser independientes de las partes.

**Contratista:** será el encargado o responsable de la ingeniería, el diseño y la construcción del sistema férreo; es de suma importancia tener en cuenta la estructuración legal y jurídica del proyecto puesto que en todas las fases de ejecución en las que se involucren los contratistas pueden existir riesgos que deben ser descritos de manera clara en los contratos.

**Operadores:** en este ítem los contratistas encargados de la operación son las personas que toman el control en la fase operativa de tal forma que todo funcione con eficacia.

**Pólizas de seguros:** son contratos que se suscriben con empresas aseguradoras con el propósito de transferir el riesgo puesto que son dichas empresas las especialistas que ayudan a cubrir los altos niveles de riesgos en la ejecución de un proyecto.

**Compradores:** se firmarán contratos marcos con empresas potenciales (*offtake agreements*) para el transporte de sus mercancías con el fin de brindar garantías en volúmenes de venta y en prioridad en el servicio.

### **Características del *Project Finance***

La metodología del *Project Finance* en primer lugar tiene como objetivo el financiamiento de proyectos, en este caso, la concesión de vía férrea, con base en los flujos de caja que se generen durante la etapa de operación del proyecto. Segundo, requiere la presencia de una sociedad vehículo de propósito exclusivo a través de una sociedad comercial o un contrato de fiducia mercantil, un ente jurídico independiente del patrocinador, cuyo propósito principal es desarrollar una actividad de infraestructura que garantice flujos de caja futuros y, a su vez, le permita saldar las obligaciones y garantizar la rentabilidad (Zúñiga Aguilar, 2012). Tercero, puede ser con recurso limitado o sin recurso, porque la financiación se basa en los flujos de caja futuros que se llegasen a proyectar en el transcurso del proyecto. Cuarto, los proyectos son a largo plazo. Por tratarse del desarrollo de una línea férrea en un tramo de tanta envergadura, la financiación del proyecto puede ser igual a la vigencia de la sociedad vehículo. Quinto, el pago del financiamiento es con flujo de fondos del proyecto financiado puesto que se basa en el flujo de costos que generará el proyecto de vía férrea y, por último, existe una asignación de riesgos del proyecto que requiere que se detalle cada uno de los riesgos que pueden surgir en un proyecto y que se efectúe la gestión de los mismos, que, a su vez, se dividen en político, regulatorio, de país y técnico (Pedroza Villegas, 2016).



Según Gómez Salazar y Díez Benjumea (2015), la figura de *Project Finance* en el desarrollo de proyectos de infraestructura que aplica para el estudio de prefactibilidad de la vía férrea entre Medellín y la subregión de Urabá antioqueño tendría las siguientes características:

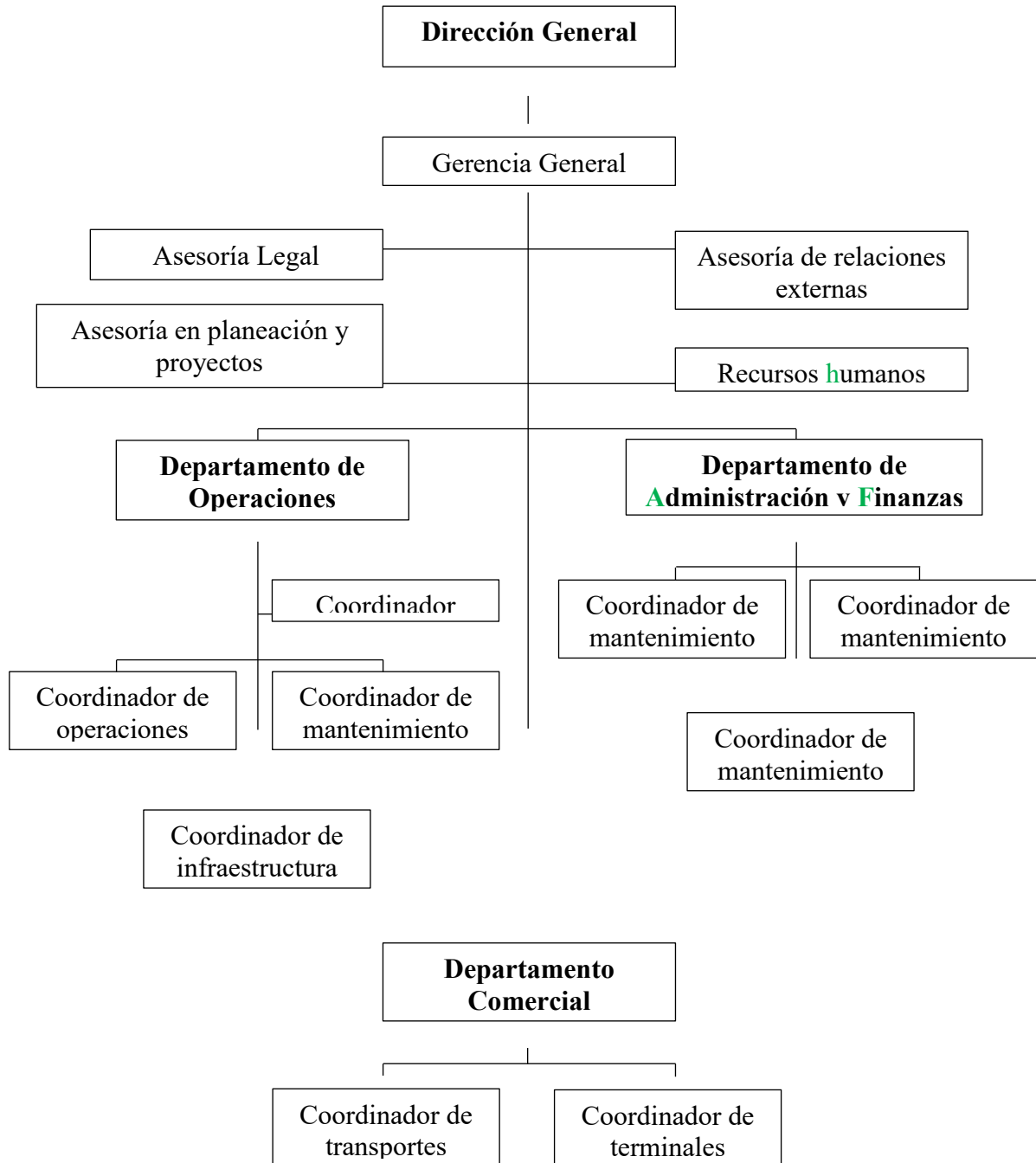
- Destino de la financiación: propósito único.
- Duración de la financiación: largo plazo y limitada por la vida del proyecto.
- Estructura financiera: depende de las capacidades del proyecto, que deben ser aseguradas con contratos o similares.
- Análisis de riesgo: además, las consideraciones técnicas, como los contratos y las estructuras de los departamentos, deben ser consideradas.
- Liquidez de los instrumentos financieros: por lo general es baja porque los acuerdos son privados, hechos a la medida y están soportados sobre relaciones contractuales.
- Costos financieros: relativamente altos debido a los costos de estructuración y la baja liquidez de los instrumentos financieros.
- Rango de acción gerencial para la toma de decisiones: poca, debida a la rígida estructura contractual.
- Costos de agencia: bajos porque la estructura contractual deja poco margen para las acciones independientes de los socios.

### **6.3.1.3. Sociedad vehículo (SPV)**

## **Organigrama**

En la siguiente ilustración se plasmaron la dirección, la gerencia, las asesorías y los departamentos que responderían a las necesidades de la compañía ferroviaria que desarrollaría el proyecto de línea férrea entre el Urabá antioqueño y Medellín.

Ilustración 33 Organigrama del SPV



Fuente: elaboración propia con base en Ferroviaria Oriental (2009)

En la tabla 36 se define cada uno de los cargos, con los perfiles que podrían aplicar para ocuparlos y las responsabilidades que les correspondería en el proyecto ferroviario. Sin embargo, los cargos que allí se nombran son, en términos generales, los más importantes en cuanto a la administración del proyecto.

Tabla 36. Definición de cargos en el proyecto ferroviario

<b>Descripción de cargos</b>	<b>Perfiles</b>	<b>Responsabilidades</b>
Gerencia General	Administrador de empresas Ingeniero ferroviario Magíster en Gerencia de Transporte Multimodal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dirigir la empresa hacia el cumplimiento de los objetivos que se planteen en su formulación</li> <li>• Evaluar los indicadores de los diferentes departamentos de manera periódica</li> </ul>
Asesoría legal	Abogado Magíster en Derecho Contractual Público y Privado	Elaborar en forma detallada los términos y las condiciones de los contratos que se celebren en la empresa
Asesoría de planeación y proyectos	Ingeniero o Administrador Magíster en Gerencia de Proyectos	Formular, coordinar y evaluar los proyectos que responden al desarrollo de la línea férrea
Asesoría de relaciones externas	Comunicador de Administrador de empresas	Mantener una buena interacción entre la empresa, los empleados y los contratistas

<p>Asesoría de recursos humanos</p>	<p>Administrador de empresas Administrador de recursos humanos Psicólogo Abogado Especialista en Gerencia de Recursos Humanos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar y gestionar las plantillas de personal</li> <li>• Administrar el personal existente</li> <li>• Coordinar a la fuerza laboral de modo que se permita el perfecto funcionamiento de la empresa</li> </ul> <p>(Peralta Maniviesa, 2017)</p>
<p>Coordinación de seguridad industrial y salud ocupacional (SISO)</p>	<p>Administración en Salud Ocupacional Especialista en Gerencia de Recursos Humanos Especialista en Gestión del Desarrollo y Cambio Organizacional Maestría en Gestión Integral del Riesgo Profesional en Gestión de la Seguridad y la Salud Laboral</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar el grado de desarrollo en salud ocupacional y el porcentaje de cumplimiento</li> <li>• Evaluar las condiciones de salud de los trabajadores</li> <li>• Desarrollar actividades de vigilancia epidemiológica en conjunto con higiene y seguridad industrial</li> <li>• Evaluar puestos de trabajo desde la perspectiva de la ergonomía aplicada a los sistemas de trabajo</li> <li>• Organizar la brigada de emergencia empresarial e implementar el servicio de primeros auxilios</li> <li>• Promover actividades de recreación, descanso y deporte</li> </ul> <p>(Orienta Universia, 2017)</p>
<p>Coordinación de operaciones</p>	<p>Especialista en Dirección de Operaciones y Logística</p>	<p>Definir las estrategias en los planes de acción de la empresa que tienen como fin</p>

		el cumplimiento de todos los objetivos de la empresa
Coordinación de infraestructura	Ingeniero civil Arquitecto	Supervisar que la estructura del proyecto ferroviario se encuentre en las mejores condiciones para la prestación del servicio
Coordinación de transportes ferroviarios	Ingeniero ferroviario	Supervisar que la prestación del servicio público de transporte ferroviario se realice en apego al marco normativo vigente mediante la práctica de verificaciones al sistema ferroviario con la finalidad de incrementar la seguridad y la eficiencia operativa (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2017)
Coordinación de terminales y transporte	Administración de empresas	Garantizar al interior de las instalaciones de la empresa la aplicación de todas las normas legales y reglamentarias sobre transporte público de pasajeros y el cumplimiento del reglamento operativo de la empresa, como también el uso racional y eficiente de las facilidades operativas y demás espacios arquitectónicos de la terminal de transporte intermunicipal de pasajeros con el fin de asegurar la maximización de los ingresos para la empresa (Mi Terminal Cali, 2017)

<p>Coordinación de sistemas</p>	<p>Ingeniero de sistemas Ingeniero de software Técnico de sistemas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formular propuestas para la implementación, la instalación y el uso de la red instalada</li> <li>• Recomendar la adquisición de software y hardware requeridos para el desarrollo de plan estratégico de sistemas</li> <li>• Evaluar, desde el punto de vista técnico, el software existente en la entidad y realizar las adaptaciones o modificaciones requeridas</li> </ul> <p>(Dirección Nacional de Derecho de Autor, 2017)</p>
<p>Coordinación de suministros</p>	<p>Contador Especialista en Dirección de Operaciones y Logística</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar las diferentes áreas que conforman la cadena de suministro con el fin de realizar inversiones en las diferentes áreas, para asegurar la continuidad y el desempeño de la compañía</li> <li>• Realizar pronósticos de demanda con el fin de plantear diferentes modelos de producción que respondan a las necesidades que manejan las compañías</li> <li>• Mejorar y administrar los procesos de compra y la relación con los proveedores</li> <li>• Desarrollar e implementar sistemas de control de inventarios a lo largo de la</li> </ul>

		cadena de abastecimiento (Universidad EAFIT, 2017)
Coordinación de contabilidad y finanzas	Contador Administrador de empresas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responder por la adecuada presentación y la entrega oportuna de los balances, anexos e informes exigidos por la gerencia y las entidades de control y vigilancia</li> <li>• Verificar el cumplimiento, por parte de las personas a su cargo y de las distintas áreas de la empresa, de las normas administrativas, legales y fiscales vigentes en materia de información financiera</li> <li>• Analizar la información contable con el fin de brindar información que ayude a la toma de decisiones (Actualícese, 2016)</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

### Funciones empresariales en el proyecto

- Producción: desde el planteamiento del proyecto de línea férrea se definió que la producción del proyecto será transportar pasajeros y carga en el tramo que comprende Medellín y el Urabá antioqueño para de esta manera expandir límites en cuestión de transporte en el país.
- Función financiera: la empresa al desarrollar el proyecto ferroviario tiene la responsabilidad de establecer los principios generales económicos, de

finanzas y administración, de control del gasto y de las inversiones, de compras y de auditoría.

- Recursos humanos: en este contexto, la empresa deberá velar por la seguridad de los empleados, contratistas y clientes. Por otro lado, contratar personal calificado para las responsabilidades que se asignarían en cada cargo y capacitarlos en forma permanente para de esta manera lograr una alta efectividad en las labores.
- Mercadeo: la empresa deberá identificar las necesidades de sus clientes para determinar los mercados y los productos que se ofrecerán para de esta manera generar satisfacción en las expectativas y los requerimientos.
- Servicio al cliente: la empresa tiene la responsabilidad de satisfacer las necesidades del cliente, de mantenerlo informado ante cualquier eventualidad y de resolver sus preguntas, reclamos y sugerencias.

Métodos y procedimientos: con el objeto de tener un horizonte claro en la etapa de operación del proyecto férreo, se plantean en la tabla 37 procesos y métodos dirigidos a las diferentes áreas de planteamiento del proyecto para mantener y mejorar la calidad del servicio de transporte por brindar, como también sus condiciones físicas y operativas. La siguiente tabla se elaboró con base en Secretaría de Comunicaciones y Transporte (2012).

Tabla 37. Métodos y procedimientos

Proceso	Objetivo
Aprobación de control de tránsito ferroviario	Aprobar los sistemas de control de tránsito de trenes que permitan a las empresas ferroviarias mejorar la operación ferroviaria, en sustitución de un sistema de control de trenes más eficiente, a través de la presentación de nuevas solicitudes por parte de los



	concesionarios ferroviarios para garantizar en todo momento la fluidez y la seguridad en la operación de los servicios ferroviarios
Atención de servicios de comunicación	Dotar a la Gerencia General de los servicios de comunicación a través de la instalación de correo electrónico, internet y voz, a fin de que cuente con las herramientas necesarias para el óptimo desempeño de sus funciones
Registro de tarifas ferroviarias	Atender en forma eficiente y oportuna las solicitudes de registro de tarifas ferroviarias de carga, servicios diversos y auxiliares y sus reglas de aplicación que presentan los concesionarios, los permisionarios o los asignatarios de los servicios ferroviarios de carga y pasajeros  Las tarifas y sus reglas de aplicación se registrarán con vigencia indefinida
Autorización o aprobación de pólizas de seguros ferroviarios	Emitir la autorización o la aprobación de pólizas de los seguros para garantizar el pago de daños a los pasajeros y sus pertenencias, a la carga, a terceros en sus personas y bienes, a las vías generales de comunicación y cualquier otro daño generado por la prestación de servicios ferroviarios
Autorización para operar el transporte multimodal	Contar con un procedimiento claro y transparente para gestionar la autorización de operadores de transporte multimodal internacional para prestar servicios dentro del territorio nacional a través de la descripción concisa de las diferentes etapas, los agentes involucrados y los

	conceptos que intervienen en el proceso de gestión con el propósito de facilitar el trámite a los interesados
Análisis y evaluación de los indicadores de seguridad y eficiencia operativa	Evaluar los servicios prestados por los concesionarios y los asignatarios ferroviarios mediante indicadores de desempeño relativos a la seguridad y la eficiencia operativa
Programa de seguridad ferroviaria	Optimizar las condiciones de seguridad, así como la problemática generada por el paso del ferrocarril, a través de la celebración de convenios de reasignación de recursos o mediante la licitación de las obras, para así mejorar los niveles de seguridad y de la infraestructura ferroviaria
Proceso de atención a reportes de soporte técnico	Atender las solicitudes en materia de soporte técnico con objeto de garantizar el correcto funcionamiento de sistemas y del equipo de cómputo, tanto de software como de hardware, para contar con las herramientas necesarias para el óptimo desempeño de sus funciones

Fuente: elaboración propia con base en Secretaría de Comunicaciones y Transporte (2012)

### **Definición de actividades a cargo de compañías externas**

Por tratarse de un proyecto de gran magnitud, las actividades externas serían definidas en la formulación del proyecto de acuerdo con las necesidades del mismo. Asimismo, contarían con la asesoría legal de la empresa para fijar los términos y las condiciones y lograr acuerdo entre las dos partes.

- **Estructura operacional del proyecto**

Se tomó como base la información plasmada en el informe de ADIF (2008).

## **Necesidades de personal**

### **1. Personal de movimiento**

Jefe de circulación: ejerce el mando del personal de movimiento y del personal de los trenes que se encuentren en la estación en todo lo relativo a la circulación.

Agente de circulación: asegura el servicio de circulación mediante la aplicación de las normas reglamentarias.

Agente de maniobras: encargado del accionamiento de las agujas, de la realización de las maniobras y del cumplimiento de otras normas reglamentarias que le correspondan.

### **2. Personal de trenes**

Maquinista: el agente que tiene a su cargo la conducción de un vehículo motor de cualquier clase y el cumplimiento de las normas reglamentarias que le correspondan.

Ayudante: colabora en la conducción de un vehículo motor y secunda al maquinista.

Agente de acompañamiento: podrá comunicar la finalización de las operaciones del tren y realizar maniobras cuando resulte indispensable.

### **3. Personal de Infraestructura**

Encargado de trabajos: el agente autorizado para intervenir en el bloqueo por ocupación y dirigir trabajos en las proximidades de la vía.

Agente de infraestructura: garantiza el paso de las circulaciones mediante la aplicación de las normas reglamentarias que le correspondan.

Piloto de seguridad: el agente encargado de la vigilancia y la protección de los trabajos en la vía, en relación con la circulación.

### **4. Personal de material remolcado**

Agente de material remolcado: el agente que garantiza la circulación de los vehículos remolcados.

Guardabarrera: el agente que tiene a su cargo la guardería de un paso a nivel.

Encargado de la prueba: el agente que ejerce el mando del personal de los trenes de pruebas y dirige la realización de las mismas.

### **Necesidades de infraestructura física para la operación**

Línea: comunicación ferroviaria entre dos puntos determinados. Las líneas pueden tener una, dos o más vías.

Trayecto: tramo de una línea comprendida entre dos estaciones determinadas.

Estación: instalación de vías y agujas, protegida por señales, que tiene por objeto coordinar los procesos de la circulación.

Vías de circulación: las utilizadas en la estación para entrada, salida o paso de los trenes.

Puesto de circulación: sector de vías, agujas y señales de una estación.

Cargadero: instalación de vías para la carga y la descarga de vagones con enlace a una línea mediante una o más agujas de plena vía.

Estación: dependencia para la bajada y la subida de viajeros.

Puesto de mando: dependencia encargada de organizar y coordinar la circulación en las líneas de su jurisdicción que se denominan reguladas.

Base: dependencia utilizada para la gestión, el mantenimiento de los vehículos motores y el estacionamiento de los mismos durante los períodos sin servicio.

Radiotelefonía: medio de comunicación entre vehículos, estaciones y puesto de mando.

Tren convencional: tren compuesto por una o más locomotoras y vehículos remolcados de cualquier clase.

### **Tecnología administrativa (software, hardware, redes, otros)**

Para llevar a cabo las diferentes actividades de la empresa se requieren recursos tecnológicos como medio para cumplir los propósitos que se clasifican en dos ramas:

Intangibles: diferentes softwares para la operación y la administración, las aplicaciones y las redes sociales.

Tangibles: computadores, impresoras, teléfonos, máquinas y aparatos electrónicos para la construcción y el control de la operación de la línea férrea.

### **Controles internos**

En el marco del control interno de la empresa se tendrían auditorías internas y externas para verificar que todos los procesos y las actividades se realicen en forma óptima y en los tiempos estipulados para ello. Asimismo, para controlar el cumplimiento de los objetivos planteados en su formulación.

## **6.3.2. Evaluación financiera del proyecto**

### **6.3.2.1. Flujo de caja libre**

#### Modelación del flujo de caja probabilístico:

El flujo de caja fue proyectado a 40 años, con una inversión inicial en el período 0 y otras inversiones en los períodos 4, 10, 15 y 20. Para la elaboración del mismo se modelaron 202 variables de entrada, que al final convergen en cuatro variables de salida. Todo esto convierte esta evaluación financiera en un estudio probabilístico dinámico en el que interactúan, por ejemplo, la inflación en Colombia y la de Estados Unidos año a año, el crecimiento de la demanda, el porcentaje de captura de la demanda, los costos del ACPM, la tasa representativa del mercado (COP/USD) y las tasas de captación, entre otras variables.

Inflación: la inflación en Colombia fue modelada gracias a la obtención de 132 datos mensuales desde enero de 2007 hasta diciembre de 2017 tomados de Banco de la República (2018), que se ajustaron por medio de un estadístico de prueba ji al cuadrado (no hay datos centrados en la media y la probabilidad es, en apariencia, uniforme), que arrojó que la función beta general era la que más se ajustaba a la

forma de los datos; la función obtenida se utilizó como función generadora de inflación para cada uno de los años del proyecto en las variables relacionadas con Colombia.

Por otro lado, para la modelación de la inflación en Estados Unidos se tomaron 31 datos anuales desde 1986 hasta 2017, a los que se les hizo una prueba de bondad de ajuste por medio del estadístico de prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS), puesto que los datos están centrados en la media y hay baja probabilidad en las colas (del 0 al 5% y del 95% al 100%), que arrojó una función logística como la mejor que describía esta variable; por lo tanto, cada año tendrá su propia función independiente, para la que se generaron valores aleatorios que fuesen parte de dicha función. Esta inflación se utilizó para conocer el valor de los trenes en el tiempo.

Tasa de cambio: para modelar la tasa de cambio se tomaron 900 datos diarios desde el 1 de agosto de 2015 hasta el 16 de enero de 2016, a los que se les aplicó una prueba de bondad de ajuste. Al visualizar los datos se detectaron colas pesadas al lado izquierdo y livianas al lado derecho; de esta manera se analizó con el estadístico de prueba de Anderson-Darling (AD), que recomendó una función de Pearson 5, con una desviación estándar de 133,48. A su misma vez, se analizó mediante el estadístico de prueba de Kolmogorov-Smirnov, que recomendó la misma función con igual desviación. De esta manera se seleccionó la utilización del estadístico de KS para generar una función que sirvió para calcular el valor de la tasa de cambio en los períodos 4, 10, 15 y 20.

DTF: para la modelación de la DTF se tomaron 524 semanales, desde la primera de 2008 hasta el 15 enero del 2018; al ver los datos se notaron colas pesadas a la izquierda y livianas a la derecha; por lo tanto, se evaluó con AD con una función de Gauss invertida y una desviación de 0,02078 y se evaluó también con KS, que recomendó la misma función con igual desviación; por lo tanto, se ajustó con KS.

### **6.3.2.2. Ingresos**

Los ingresos del proyecto están asociados, en lo primordial, con el cobro de tarifas por la movilización de carga a través del sistema. En esencia, los ingresos corresponden al producto entre una cantidad y un precio:  $I=Q \times P$ .

#### **Cantidad (Q)**

El servicio de transporte ofrecido por el sistema férreo se medirá a través de la cantidad de toneladas movilizadas por un año de operación. De esta manera, este indicador facilitará la estimación y el control de los diferentes presupuestos. La estimación de las cantidades movilizadas por vía férrea es clave a la hora de cuantificar la entrada de dineros al proyecto.

La justificación de la realización de este trabajo de investigación se sustenta en la oportunidad de negocio que surgirá debido a la inversión que se hará en el golfo de Urabá en materia de infraestructura portuaria dentro de los próximos años. De esta manera, el éxito de la propuesta está condicionado a la movilización de carga que se tenga en los puertos de Urabá (Puerto Antioquia, Puerto Pisisí y Darién International Port). En la sección 6.1.2., correspondiente al estudio de mercado, se muestra la estimación de la carga proyectada de los puertos, a partir de la cual se planteó la captación de la mercancía que se movilizará a través del sistema férreo. En este orden de ideas, la movilización de carga a través del modo férreo será directamente proporcional a la que ocurra en las terminales marítimas de Urabá. Otro factor importante en la estimación de los ingresos es la capacidad instalada que el proyecto puede ofrecer. Esta característica del proyecto se define según las consideraciones de diseño de la infraestructura y de operación, el tipo y la cantidad de los vehículos, el mercado potencial, las expectativas de servicio de operación y los retornos esperados por los patrocinadores.

### Demanda:

Para la modelación de la demanda se tomó la proyección de 32 años de la cantidad de toneladas movilizadas en los puertos de Urabá, presentada en el estudio de mercado, en la que para los años 1 y 2 del proyecto se tiene firmada la entrada de 2.040 toneladas y 4.638 toneladas, en su orden. Para los siguientes años, la firma realizó una estimación aproximada del número de toneladas que se movilizarán por los puertos, pero no se tiene certeza acerca de si crecerá de acuerdo con los estudios realizados; por lo tanto, se encontró entonces la variación anual de esa demanda proyectada, de lo que se obtuvieron 30 datos de variaciones anuales.

Con el fin de hallar una función que sirviese para proyectar el crecimiento, se aplicó una prueba de bondad de ajuste por medio del estadístico de prueba ji al cuadrado, que entregó una función exponencial como la mejor que describe el comportamiento de esta variable.

### Porcentaje de captura:

El porcentaje de captura se modeló de la siguiente manera: en el período 1 se espera capturar el 30% del total de las toneladas que ingresen por los puertos; del período 2 al 5 se trabajó con escenarios pesimista del 28%, medio del 30% y optimista del 32%; durante los períodos 6 al 10 con pesimista del 33%, medio del 36% y optimista del 39%; de los períodos 11 al 15 con pesimista del 37%, medio del 40% y optimista del 44%; de los períodos 16 al 20 con pesimista del 42%, medio del 44% y optimista del 46%. Durante estos periodos (del 1 al 20) se modeló con ayuda de una función PERT. Durante los períodos 21 al 25 se trabajó valores mínimos, medios y máximos del 44%, el 48% y el 52 %, en su orden, y entre los períodos 26 al 30 se trabajó con valores mínimos, medios y máximos del 49%, el 53% y el 56%, en su orden. Este grupo de períodos (del 21 al 30) se modeló por medio de una función triangular. Del año 31 en adelante se modelaron los períodos con una función uniforme, con como valores mínimos y máximos de 48 % y 53 %, en su orden, como porcentaje de captura.



Capacidad de la infraestructura:

Del estudio técnico y ambiental se extrajo una longitud de la línea férrea muy aproximada a la que se construirá, en la que se tuvieron en cuenta para su trazado las restricciones geográficas, técnicas, económicas, ambientales y socioculturales. Al tener en cuenta lo anterior, para la evaluación financiera del proyecto se tomó 330 km como longitud estimada de vía férrea por construir. A partir del análisis realizado en la sección 6.2.1.1.2. se definió que la capacidad instalada de la infraestructura física del proyecto será de 20 millones de toneladas movilizadas cada año.

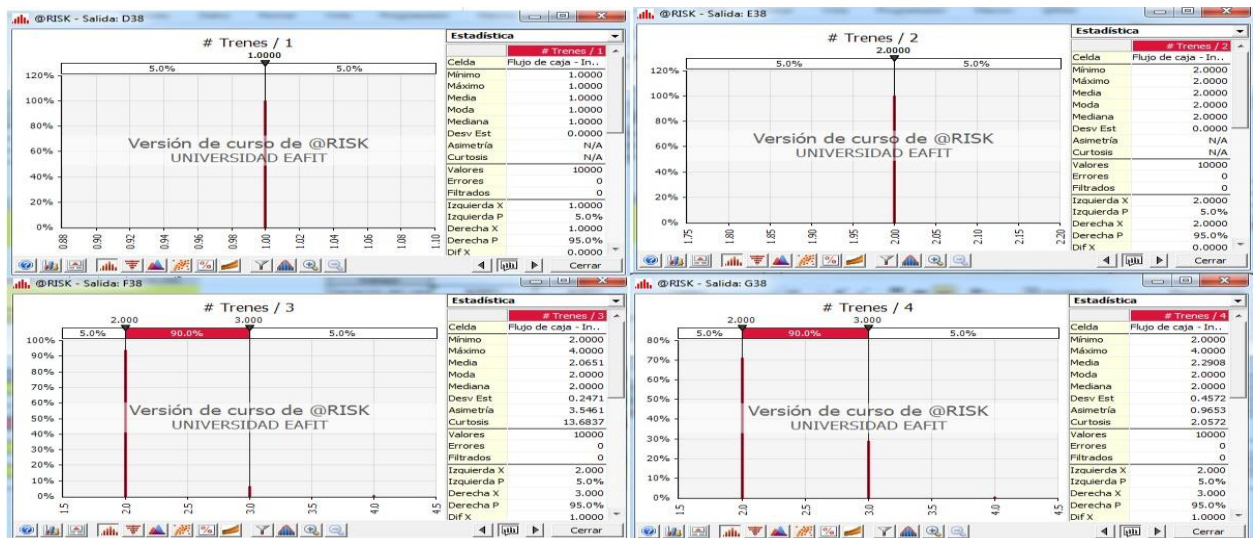
Cantidad de trenes:

Para encontrar la cantidad necesaria de trenes se dividieron las funciones de captura, en número de toneladas anuales, sobre la capacidad de arrastre anual de cada vehículo. Después se trabajó como variable de salida en *@Risk* y se simuló con 10.000 iteraciones con un muestreo de Montecarlo y un generador *Mersenne Twister*.

Los resultados probabilísticos de esta simulación, sumados a las políticas del proyecto (trabajar con 30% más de los trenes necesarios a manera de reserva) y al estudio técnico (consideraciones de operación) arrojó como resultado que el requerimiento en vehículos durante los años 1 al 4 será de tres trenes, que serán adquiridos en el período 0. Del año 5 al 10 se necesitarán ocho trenes; por lo tanto, en el período 4 se adquirirán cinco trenes más, que empezarán a operar en el período 5. Del año 11 al 15 se necesitarán 14 trenes (valor máximo del intervalo de confianza más alrededor del 30%); por lo tanto, en el período 10 se adquirirán seis trenes más. Desde el período 16 hasta el 20 se trabajará con 26 trenes y, en consecuencia, se hará la adquisición de un lote de 12 trenes en el período 15. Del 21 en adelante se tendrá que trabajar con una flota de 31 trenes y en dicho año se llegará a la capacidad máxima del sistema, que se compone 24 trenes que funcionan de manera simultánea y siete más disponibles para contingencias,

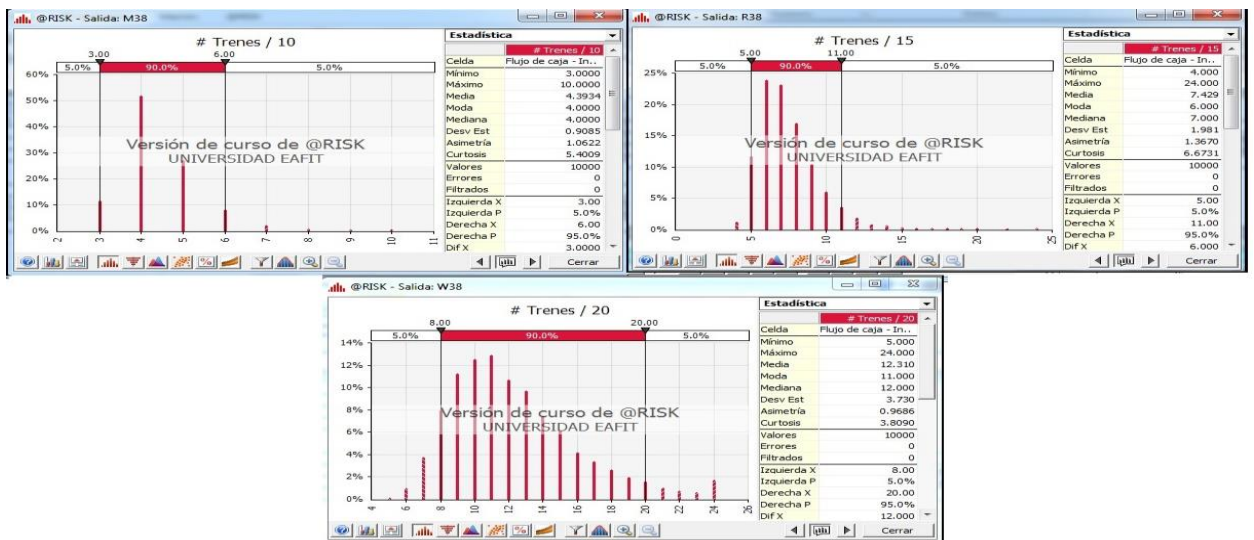
reemplazos y mantenimientos. De esta manera, la adquisición de los vehículos se hará en cinco lotes, en los períodos 0, 4,10,15 y 20.

Ilustración 34 Cantidad de trenes en los períodos 1 a 4



Fuente: elaboración propia

Ilustración 35 Cantidad trenes en los períodos 5 a 20



Fuente: elaboración propia

Capacidad máxima garantizada:

La capacidad máxima garantizada es la cantidad de toneladas que el sistema férreo es capaz de garantizar, al tener en cuenta las limitaciones de la infraestructura física del sistema y la restricción en el número y la capacidad de carga de los vehículos. En la sección anterior se estimó la cantidad de vehículos y se consideró adquirir un número adicional de ellos para ser tenidos como reserva.

Para estimar la cantidad de toneladas movilizadas cada año se tomó el mínimo valor entre la capacidad máxima garantizada y la captación de la demanda de cada período de evaluación.

**Precio (P)**

Las tarifas del servicio serán fijadas según se cumplan condiciones tales como que el costo de movilización de carga de un punto a otro para el usuario final sea más económico a través del sistema férreo o de la opción multimodal (tren más camión) en lugar de la utilización del modo carretero en forma exclusiva y que la tarifa alcance a cubrir los costos operativos y las expectativas financieras del proyecto (costos de deuda y de capital). En la sección 6.1.2.4.2. se presentó el análisis de la estimación de la tarifa (\$/tonelada-km) para el usuario final.

El valor de la tarifa del período 0 se calculó al tener en cuenta los costos de operación y el margen de ganancias explicado en secciones anteriores. Las tarifas del período 1 en adelante crecerán al tomar en consideración la función de inflación en Colombia modelada antes para cada uno de los períodos.

### **6.3.2.3. Egresos**

Los costos de operación (ver sección 6.2.1.1.2.1.), como combustible, mantenimientos, honorarios y de gestión y administración, entre otros, se parametrizaron de tal manera que se logró estimar un valor según el número de toneladas de carga movilizadas (\$/tonelada-km). El modelo para estimar los costos se tomó del informe de Steer Davies Gleave (2011) para los diferentes operadores ferroviarios de la red chilena. Se tomaron los datos de locomotoras de 2.300 HP debido a que, por su desempeño, son los vehículos idóneos para cumplir los requerimientos de operación del sistema férreo propuesto. Estos costos se estimaron en pesos colombianos y con precios locales.

#### Costo del combustible:

Debido a que los costos operativos del sistema férreo son tan sensibles a las variaciones del precio del combustible, este rubro se calculó de la siguiente manera:

Para modelar el precio del ACPM se tomó una tarifa inicial de \$8.232 del valor del galón de dicho combustible para el año 0; luego, para modelar las variaciones a través del tiempo, se tomaron 120 datos de precios mensuales en Colombia, a los que se les encontró la variación mensual, para un total de 119 datos, que fueron ajustados, con un estadístico de prueba de KS (debido a que la forma de los datos presenta concentración en la media y baja probabilidad en las colas). Este estadístico de prueba seleccionó una función logística como la que mejor se acoplaba a la forma del crecimiento del precio del ACPM.

#### Costos de operación (sin combustible):

Para obtener el año 0 el valor de los costos de operación (sin incluir el costo de combustible), se tomaron precios locales del año 0. A partir del año 1, los costos de mantenimiento, honorarios y de administración y ventas crecerán de acuerdo con de las funciones de inflación en Colombia.

#### **6.3.2.4. Estructura de capital**

De acuerdo con la forma de financiación del proyecto propuesta en secciones anteriores, que será a través de una estructura de *Project Finance*, se tendrán fuentes internas y externas para financiar los activos que harán posible el desarrollo del proyecto. La proporción de los recursos internos y externos se conoce como estructura de capital. Debido a que este análisis se hace en etapas muy tempranas del proyecto (la de prefactibilidad) en las que los datos no están ajustados a la realidad y la incertidumbre es muy alta en relación con las condiciones del mercado en el momento de iniciar la etapa de inversión, se propone tener una estructura de capital en las que la financiación del proyecto sea con 30% de recursos propios y un 70% de deuda. “En una estructura de *Project Finance*, el promotor suele aportar patrimonio en un valor equivalente a por lo menos el 30% del costo total del proyecto” (FDN, 2018). En los estudios técnico y de mercado de este trabajo se determinó la necesidad de realizar cinco inversiones en diferentes períodos. Se conservó la misma estructura de capital para cada uno de estos momentos de inversión.

Actualmente, la principal fuente de financiación de los proyectos bajo la modalidad de *Project Finance* es la proveniente de los bancos, pero la estructura de capital de cada proyecto, difiere en cuanto a las características de los mismos, la aversión al riesgo de los sponsors, el acceso a los mercados de capitales y el apalancamiento financiero ideal fruto de los análisis económicos respectivos (Gómez Salazar y Díez Benjumea, 2015).

##### **6.3.2.4.1. Costo de los recursos propios (*equity*)**

La tasa de descuento social es una herramienta que tiene como fin evaluar los beneficios que trae consigo el desarrollo de proyectos de carácter social; esta tasa

inicia a partir de un análisis de costo-beneficio que permitirá identificar cuáles serían los proyectos que dejarían mayores beneficios para la sociedad. Según el Departamento Nacional de Planeación la tasa de descuento social fijada es del 12% para proyectos de inversión pública de carácter social (DNP, 2013).

El costo de capital se refiere al monto que se le atribuye por la utilización de dineros de otras personas; en otras palabras, es la tasa de retorno que se espera en el momento de ejecutar un proyecto con recursos propios o la constitución de una empresa, con el que se logra identificar la viabilidad del desarrollo de la idea de negocio o proyecto; las dos metodologías más conocidas para hallar el costo de capital son el CAPM (*capital asset pricing model*) y el costo promedio ponderado.

El presente proyecto, al estar formulado según el esquema de APP de iniciativa privada, tiene la posibilidad de que el costo de los recursos propios sea fijado por los promotores (inversionistas principales) del proyecto. Esta tasa está fijada a las condiciones en las que se encuentra el inversionista y la evaluación del riesgo que él haga. A pesar de ello, la tasa de descuento social (12% E. A.) se tomó como referencia para estimar el costo del capital propio. Esta tasa de descuento en algunas ocasiones supera la tasa requerida por inversionistas.

#### **6.3.2.4.2. Costo de la deuda**

El *Project Finance* es un modelo de financiación en el que los flujos de dinero provenientes del proyecto son analizados por las entidades financiadoras para tener mayor seguridad de la fuente de pago del préstamo. Por lo general, la financiación para este tipo de proyectos es de largo plazo, entre 20 y 30 años, de modo que esté de acuerdo con el plazo del proyecto y con su capacidad de generar el dinero necesario para servir la deuda. En los últimos años en Colombia, el modelo de financiación *Project Finance* se ha utilizado para apalancar grandes proyectos de

infraestructura. Debido al monto por financiar y al grado de riesgo de estos proyectos, la deuda no la asume una única fuente, debido a que las entidades financieras prefieren compartir el riesgo; por esta razón, los promotores de la iniciativa deben buscar diferentes entidades que apalanquen al proyecto. De esta manera, la deuda senior será asumida por bancos comerciales, bancos de segundo piso (en Colombia: Finagro, Bancoldex y Findeter), mercados de capitales, agencias de crédito de exportación (*export credit agencies* o ECA), entidades multilaterales y administradoras de fondos de pensión (AFP), entre otras posibilidades. Las tasas de crédito, al igual que las condiciones del préstamo (plazo, forma de pago, garantías y *covenants*, entre otras), son impuestas e independientes por cada una de las entidades financieras y están ligadas con las condiciones del mercado, con el monto y con la calificación frente al riesgo que tenga el prestatario (o grupo de prestatarios). Cada prestamista tiene sus propios criterios de evaluación e instaura condiciones independientes para otorgar el crédito a los promotores.

Para la evaluación financiera de este trabajo fue necesario definir las características del préstamo para modelar los flujos de caja del proyecto; por esta razón se recurrió a la banca comercial para ajustar el modelo a condiciones reales. A través de una visita que se hizo a las oficinas de Bancolombia el día 16 de enero de 2018, se simuló la solicitud de un préstamo de alrededor de \$1,7 billones, al tener como variable de entrada la calificación del riesgo de una empresa prestataria (ficticia) con nivel de riesgo medio. Lo que resultó después de la simulación fue que el préstamo sería otorgado en un plazo máximo de diez años, en los que la amortización de la deuda se hacía con abono a capital constante y la tasa de financiación era variable en cada uno de los períodos. Para este tipo de créditos, la tasa tiene un componente variable, como los depósitos a término fijo (DTF), que está ligado con la variación de la captación en el mercado financiero, y un componente fijo (*spread*), que se determina según las negociaciones y los análisis que se hagan del proyecto. En la ilustración 36 se muestran las condiciones del préstamo simulado. Se presenta también un rango de tasas en las que se podría

estar moviendo el *spread*, que depende de los acuerdos que se hagan entre el prestamista y el cliente.

Ilustración 36 Simulación de crédito comercial

COTIZACION MESES	
Monto	\$ 1,752,093,000,000
Plazo:	120 meses
Amortización Capital:	Mensual
Amortización Intereses	Mensual
*Tasa Indicativa:	TASA TECHO DTF + 5,80% TA TASA PISO DTF + 4,30% TA
Garantías Requeridas	FNG y Firma de Avaes
Comision del FNG	3,2 % + IVA

\*La tasa puede cambiar al momento del desembolso

Fuente: Bancolombia (información específica entregada a los autores el 16 de enero de 2018)

Después de analizar las condiciones del crédito (como tasas y plazo), se llegó a la conclusión de que financiar toda la deuda a través de un único banco comercial no era la forma adecuada; las condiciones requeridas en cuanto a plazo y montos no son cubiertas en su totalidad, por la entidad financiera puesto que, por políticas de riesgo, se tienen plazos cortos y montos limitados; por lo tanto, se buscaron otra forma y otras fuentes para financiar el proyecto. A manera de ejemplos de casos de grandes créditos comerciales en Colombia están:

- Ecopetrol, marzo de 2009, monto de \$2,2 billones, plazo de siete años con dos años de gracia, tasa: DTF+4,0%, once bancos participantes.
- Bicentenario, mayo de 2012, monto de \$2,1 billones, plazo de doce años con un año de gracia, tasa: DTF+4,54%, diez bancos participantes.



- Club Deal Isagen, febrero de 2010, monto de \$1,5 billones, plazo de diez años y tres años de gracia, tasa: DTF+4,9%, diez bancos participantes (Gómez, 2017).

Entre las inversiones que se tienen estipuladas en el proyecto se tiene prevista la adquisición de vehículos en diferentes períodos, por lo que se consultó con la misma entidad bancaria la forma de financiar los trenes a través de la figura del *leasing* que, entre otros aspectos, ofrece beneficios tributarios que agregan valor a la hora de calcular los flujos de caja. De la misma forma que en el crédito anterior, se encontraron tasas variables; en este caso, estaban ligadas con el índice de precios al consumidor (IPC). Para el caso simulado, se encontró una tasa del orden de 9,49% E. A. La tasa de financiación de este préstamo se calculó según el monto por financiar, el plazo y la opción de compra de los vehículos. Como variable de entrada se fijó que se iba a financiar a través del *leasing* un 80% del valor comercial de los trenes y que la opción de compra (cancelada dentro de la última cuota) sería del 10% sobre el valor del desembolso. El plazo de este crédito fue de cinco años.

En la búsqueda de fuentes de financiación que se adaptaran a las características de un proyecto como el estudiado, se encontraron las líneas de redescuento, que son préstamos que se hacen con bancos de segundo piso a través de la banca comercial, en los que se pueden tener plazos adecuados para el proyecto y con tasas que son más asequibles para la financiación que se busca. Este tipo de financiación aplica para los sectores energéticos, transporte, desarrollo urbano, construcción y TIC, entre otras posibilidades, y las tasas están por el orden de IPC+3,0% E. A., según Findeter (2017).

Método de financiación del sistema férreo:

En este trabajo se denominará deuda de tipo 1 a la que se modeló con las siguientes características:

**Costo de la deuda:** para estimar el costo de la deuda se obtuvo un promedio ponderado de diferentes tasas consultadas con créditos comerciales y con recursos de bancos de segundo piso. Se tomó un componente común y variable: el DTF, para todos los créditos. Por otro lado, se hizo un promedio ponderado de diferentes montos con distintas tasas fijas; de esta manera, se obtuvo un *spread* ponderado para los créditos (3,77% E. A.). Paso seguido, se calculó y modeló (con un DTF variable en cada año) una tasa a través de tasas combinadas.

**Plazo:** para ser consecuentes con los plazos de las líneas de redescuento, se definió para todos los créditos de la deuda senior un plazo de 15 años.

La deuda de tipo 2 corresponde a las características del *leasing*, antes explicadas. Además, se tuvo en cuenta que, para cubrir la cuota del *leasing*, unas garantías (que corresponden a un único pago en el período 0) y un seguro para cada período, que varía a través del tiempo según la inflación y que corresponde a un rango de entre el 4 y 6 por mil del valor del activo (trenes). Estas consideraciones se tuvieron en cuenta en el modelo que será explicado más adelante.

Para la selección del método de financiación se plantearon y modelaron las siguientes opciones:

**Método 1: abono a capital constante (sin *leasing*):** como se mencionó en secciones pasadas, el proyecto tendrá cinco períodos en los que se harán inversiones (0, 4, 10, 15 y 20). En el período 0 se harán las inversiones para construcción de la infraestructura del sistema (CAPEX), para capital de trabajo y para el lote 1 de los vehículos. Todas las inversiones, en todos los períodos, estarán financiadas por las características de la deuda de tipo 1. Es importante aclarar que

si el DTF fuera el mismo valor en el tiempo, la estructura del capital sería igual es todos los períodos. La amortización de la deuda se hizo con abono a capital constante.

**Método 2: abono a capital constante (con *leasing*):** en este método de financiación se tendrán deudas de tipos 1 y 2. En el período 0, la inversión de la infraestructura, el capital de trabajo y un 20 % del valor de los vehículos se hará con deuda de tipo 1. El 80% de los vehículos se financiará a través de un *leasing*, es decir, deuda de tipo 2. Para los siguientes períodos de inversión, en los que se adquirirán vehículos, se conservará el mismo esquema de financiación (20% de deuda de tipo 1 y 80% de deuda de tipo 2). En la deuda de tipo 1 la amortización se hizo con abono a capital constante.

**Método 3: abono de capital al final del plazo (sin *leasing*):** se tiene el mismo esquema de financiación que en el método 1. La diferencia consiste en que la amortización de la deuda se hizo con abono a capital al final del plazo.

**Método 4: abono de capital al final del plazo (con *leasing*):** se tiene el mismo esquema de financiación que en el método 2. La diferencia estriba en que la amortización de la deuda de tipo 1 se hizo con abono a capital al final del plazo.

#### Selección del método de financiación:

Después de la construcción de los flujos de caja probabilísticos, para cada una de las cuatro opciones se tomó variable de salida a la TIRM en el software @Risk 7.5 y se procedió a una simulación con 10.000 iteraciones, un muestreo de Montecarlo y un generador *Mersenne Twister*. Luego se encontró el resultado esperado de la TIRM por medio de la función Riskmean(TIRM) y la desviación o riesgo de la misma gracias a la fórmula de RiskstdDev(TIRM).

Los dos resultados permitieron encontrar el coeficiente de variación (CV) que, en resumidas cuentas, explica cuántos pesos se arriesgan por cada peso que se espera ganar en cada una de las opciones de proyecto.

Ilustración 37 Cálculo del coeficiente de variación (CV)

PROYECTO \ INDICADOR	Riesgo de la TIRM	Valor esperado de la TIRM	Coeficiente de variación
Capital constante sin <i>leasing</i>	0,62%	12,81%	0,04802
Capital al final sin <i>leasing</i>	0,62%	12,99%	<b>0,04775</b>
Capital constante con <i>leasing</i>	0,62%	12,43%	0,04981
Capital al final con <i>leasing</i>	0,61%	12,53%	0,04907

Fuente: elaboración propia

La tabla anterior da cuenta del procedimiento explicado y muestra que la opción capital al final sin *leasing* fue la que menor CV tuvo y, por lo tanto, fue la mejor opción. De esta manera, las alternativas capital constante sin *leasing*, capital constante con *leasing* y capital al final con *leasing* fueron descartadas para los análisis posteriores.

#### **6.3.2.4.3. Costo de los recursos**

#### **6.3.2.5. Inversión**

Al igual que como se mencionó en la sección 6.2.1.1.1.6., a pesar de que el sistema férreo que se propone en este trabajo está planteado para ser ejecutado en territorio colombiano, sus características, como la estrecha relación del proyecto con entidades internacionales (bancos, entidades multilaterales, inversionistas, proveedores y consultores, entre otros), o la interacción entre actores de diferentes áreas del conocimiento, hacen que se tenga una gran variedad en las unidades de medida y en divisas. Para la evaluación financiera fue necesario establecer una unidad básica de medida para tener homogeneidad en los datos y permitir comparar la información en forma directa. De igual manera, las cifras presentadas en esta sección están ligadas al dólar estadounidense para servir de moneda de evaluación.

##### Inversión en la construcción:

En la sección 6.2.1.1.1.6. se definió que sería utilizado el indicador de costo/km de vía como la herramienta para estimar la inversión necesaria para construir el proyecto ente Medellín y Necoclí y que, para la evaluación financiera respectiva, la magnitud del indicador será de USD2,3 millones. En este orden de ideas, al tener como insumo los 330 km de recorrido, el costo total de la construcción será de USD759 millones. Este costo estará destinado para ejecutar la infraestructura, las obras de arte, la superestructura, las edificaciones y la gestión predial y ambiental.

##### Inversión en vehículos:

Para estimar el costo de los trenes fue necesario hacer un desglose, según los tipos de vehículos que los conforman. Un tren estará compuesto por una locomotora que arrastrará una serie de vagones, que, a su vez, estarán clasificados según el tipo de carga que movilizarán, según el tipo de embalaje. La configuración de los trenes estará dada según la capacidad de arrastre de la locomotora (ver sección 7.2.1.2.1.)

y de la distribución de la carga. De esta manera, la tabla 38 resume los tipos, los costos y las cantidades de vehículos que conformarán un tren estándar para el sistema férreo propuesto.

Tabla 38 Tipos, costos y cantidades de vehículos

Tren estándar			
Tipo de vehículo	Valor presente (USD)	Cantidad	Total
Locomotora de 2.300			
HP	\$2.400.000	1	\$2.400.000
Vagón de plataforma	38.710	30	\$1.161.290
Vagón de tolva	58.065	7	\$406.452
Vagón cerrado	48.387	2	\$96.774
		<b>Suma</b>	<b>\$4.064.516</b>

Fuente: elaboración propia

Para la modelación del precio de los trenes se tuvo como valor de base el costo de un tren estándar (locomotora más vagones) de USD4.064.516 en el período 0 y para conocer el valor en dólares de un tren en los demás períodos de compra se ajustó el valor inicial en 0 por medio de las funciones de inflación en Estados Unidos generadas para cada uno de los períodos.

Par conocer el valor en pesos en el período 0 de un tren se tomó como referencia la tasa de cambio ofrecida por la mesa de dinero de Bancolombia para empresas con características similares (cliente plus, nivel de riesgo intermedio y empresa de gran tamaño) del día 16 de enero del 2018 de \$2.877. Para las inversiones en trenes en los demás períodos se generó una función para la TRM.

Después, para calcular el valor de la inversión de los lotes de trenes de cada período se multiplicó el valor del tren en dólares por la función de TRM generada para el año y por el número de trenes que componen el lote.

Tabla 39 Inversión en vehículos

PERIODO COMPRA	0	4	10	15	20
VALOR TREN USD	\$ 4,064,516.13	\$ 4,499,926.68	\$ 5,242,039.84	\$ 5,953,139.38	\$ 6,760,701.85
# TRENES	3	5	6	12	5
TASA DE CAMBIO	\$ 2,877.00	\$ 3,008.72	\$ 3,008.72	\$ 3,008.72	\$ 3,008.72
Inversión vehículos (lote 1) (COP)	\$ 35,080,838,709.68				
Inversión vehículos (lote 2) (COP)		\$ 67,695,135,081.67			
Inversión vehículos (lote 3) (COP)			\$ 94,631,033,894.64		
Inversión vehículos (lote 4) (COP)				\$ 214,936,074,988.55	
Inversión vehículos (lote 5) (COP)					\$ 101,705,351,542.23

Fuente: elaboración propia

Inversión en capital de trabajo:

Debido a la naturaleza del proyecto, los flujos de caja se ven afectados en forma directa por la movilización de toneladas dentro del sistema férreo. En otras palabras, los ingresos y los egresos serán de manera proporcional a la mercancía transportada. De esta manera, las necesidades que tiene el proyecto para operar fluctúan en función del transporte de carga. Según un análisis realizado en el flujo de caja libre se consideró pertinente que el capital de trabajo de cada período fuese un 10% de los ingresos operativos del mismo.

Depreciaciones:

El proyecto tendrá cinco períodos en los que se realizarán inversiones. En el período 0 se hará la inversión principal, en la que estarán la infraestructura física de la red férrea, las edificaciones, los terrenos y los tres trenes estándar. En los períodos 4, 10, 15 y 20 se efectuarán inversiones para la adquisición de 5, 6, 12 y 5 trenes estándar, en su orden. Cabe aclarar que el valor por depreciar de los diferentes lotes

de trenes cambiará debido a que la compra correspondiente se hará en períodos distintos y, por ende, tendrán precios diferentes. Según el decreto 3019 de 1989, el período de depreciación de la infraestructura y de las edificaciones será de 20 años y se depreciará por el método de la línea recta. El período de depreciación de los trenes nuevos será de diez años, con el mismo método de depreciación. Para finalizar, es importante aclarar que los terrenos no son objeto de depreciación.

#### **6.3.2.6. Análisis de resultados**

Una vez terminado el modelo probabilístico del flujo de caja, por medio de fórmulas en *Excel* se encontraron los indicadores financieros valor presente neto, tasa Interna de retorno modificada, relación beneficio costo y período de recuperación de la inversión. Con posterioridad, los mencionados indicadores se tomaron como variables de salida del modelo en *@Risk 7.5* para así canalizar la interacción de las 202 variables de entrada del flujo de caja y poder obtener resultados de la simulación. La misma se configuró para generar 10.000 iteraciones con un tipo de muestreo de Montecarlo y la ayuda de un generador *Mersenne Twister*. A continuación se presenta un informe de los resultados obtenidos para cada uno de los criterios de evaluación financiera.

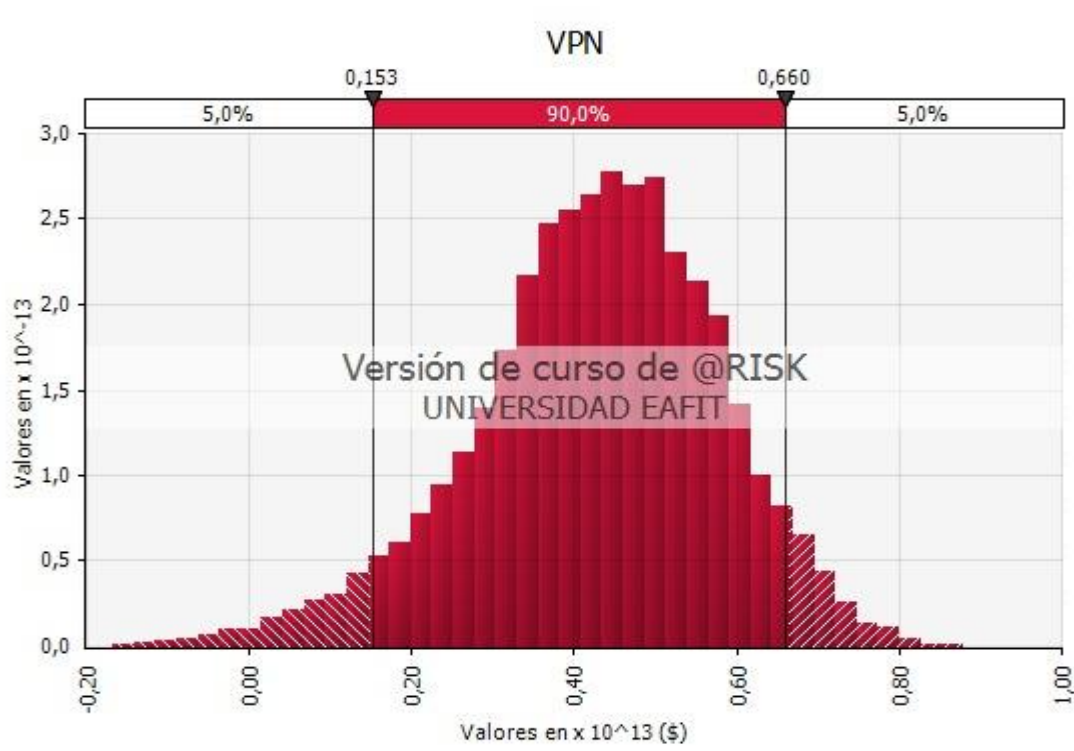
#### **Análisis del valor presente neto:**

El VPN mostró un comportamiento cuyo resultado esperado fue de alrededor de 4,2 billones de pesos, con una desviación estándar de 1,5 billones, al tener en cuenta que existe la probabilidad de que tome valores entre -1,5 billones (pérdida) y 8,8 billones. Estos dos últimos valores representan el máximo y el mínimo probables pero debe considerarse que podrían ser valores muy aislados de la realidad de la función, con baja probabilidad, por lo que se tomó un intervalo de confianza que



indica que con un grado de certeza del 90% el VPN podría ubicarse entre 1,5 billones y 6,5 billones, en términos aproximados, lo que puede ser atractivo para los inversionistas y otros interesados del proyecto.

Ilustración 38 VPN



Fuente: elaboración propia

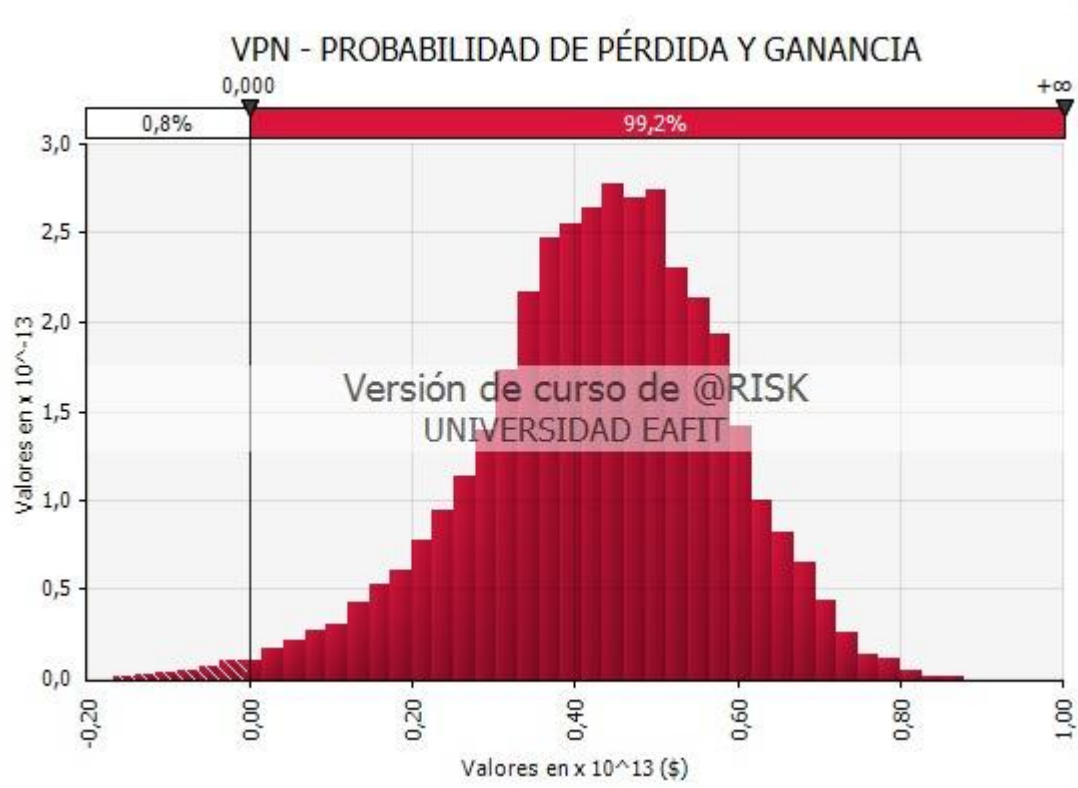
Tabla 40 Estadísticos del VPN

Estadísticos VPN	Valor
Valor Mínimo Probable	-\$ 1.676.235.333.227
Valor Máximo Probable	\$ 8.791.145.413.588
Media	\$ 4.274.398.495.950
Desviación Estandar	\$ 1.519.212.992.785
Valor Mínimo Intervalo de Confianza	\$ 1.530.833.517.605
Valor Máximo Intervalo de Confianza	\$ 6.597.894.381.937

Fuente: elaboración propia

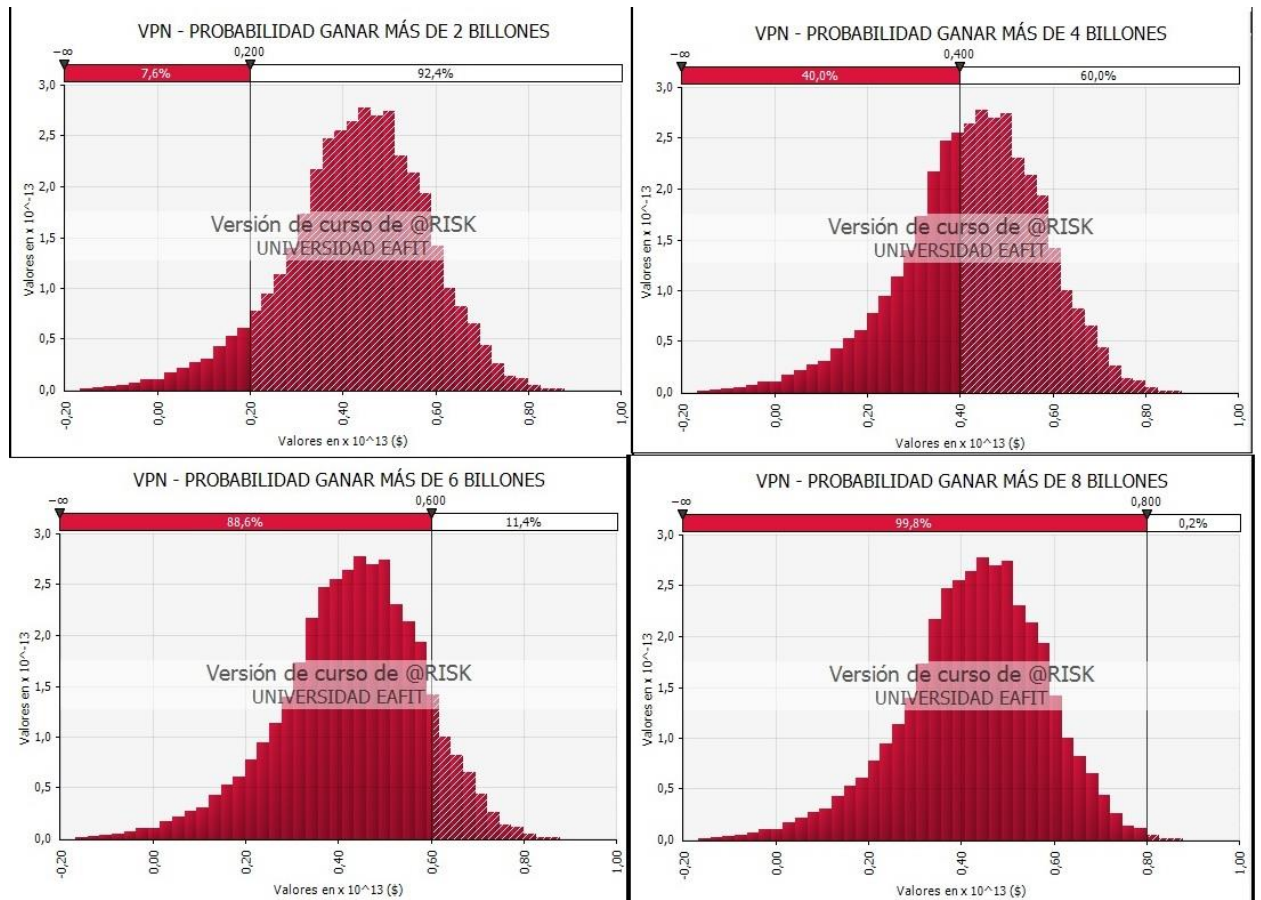
En este orden de ideas es importante mencionar que el proyecto tiene una probabilidad del 99,2% de generar valor y solamente un 0,8% de probabilidad de generar pérdidas, tal cual se puede observar en la gráfica que se presenta en la ilustración 39. También existe el interés por parte de los interesados del proyecto en conocer la probabilidad de tener ganancias de más de 2, 4, 6 y 8 billones que, según la ilustración 40, fueron del 92,4%, el 60%, el 11,4% y el 0,2%, en su orden.

Ilustración 39 VPN-Probabilidad de pérdida y ganancia



Fuente: elaboración propia

Ilustración 40. Probabilidades de ganar más de 2, 4, 6 u 8 billones

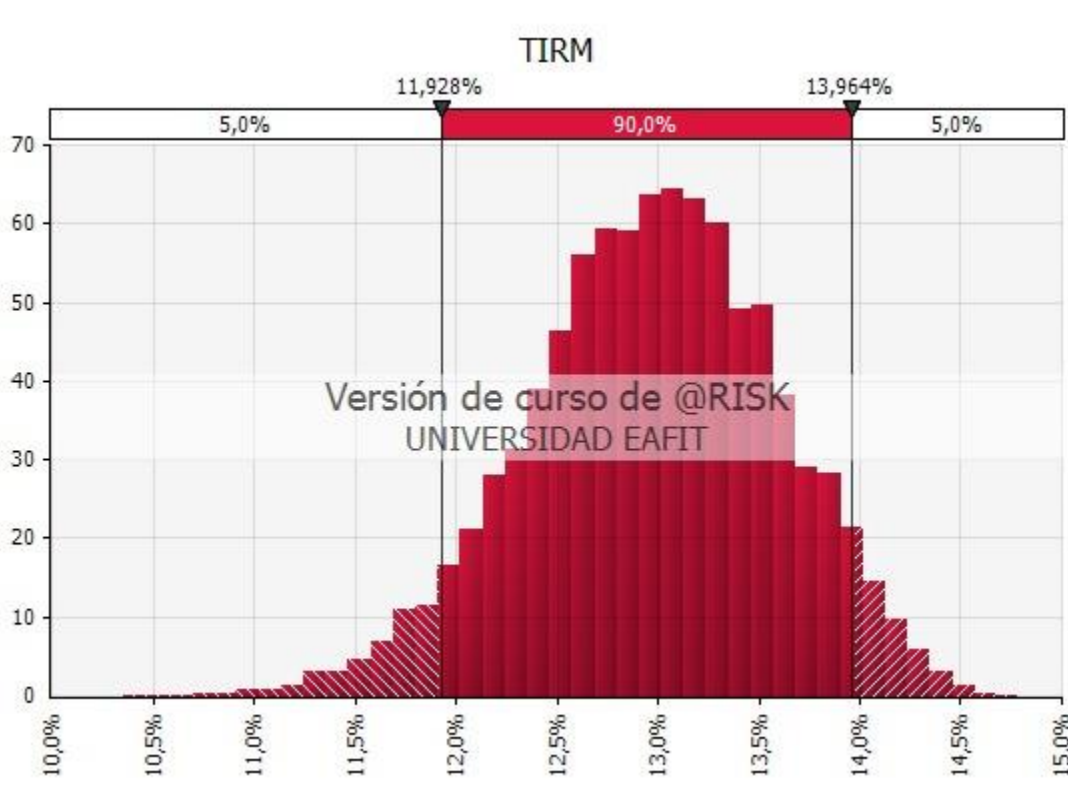


Fuente: elaboración propia

### Análisis de la tasa interna de retorno modificada (TIRM)

La TIRM probabilística es una medida de rentabilidad del proyecto y arrojó como resultado más probable 12,98%, con una desviación estándar de 0,62%. Este estudio probabilístico indicó que el valor mínimo que podría tomar esta variable fue de 10,36% y que es posible que se alcanzase una rentabilidad de 14,79%. Al igual que en el caso del VPN, hubo datos en las colas muy extremos y que, aunque pueden ocurrir, son poco probables y por ello se encontró que el intervalo de confianza del 90% de la TIRM cuenta con un rango entre 11,93% y 13,96%.

Ilustración 41 TIRM



Fuente: elaboración propia

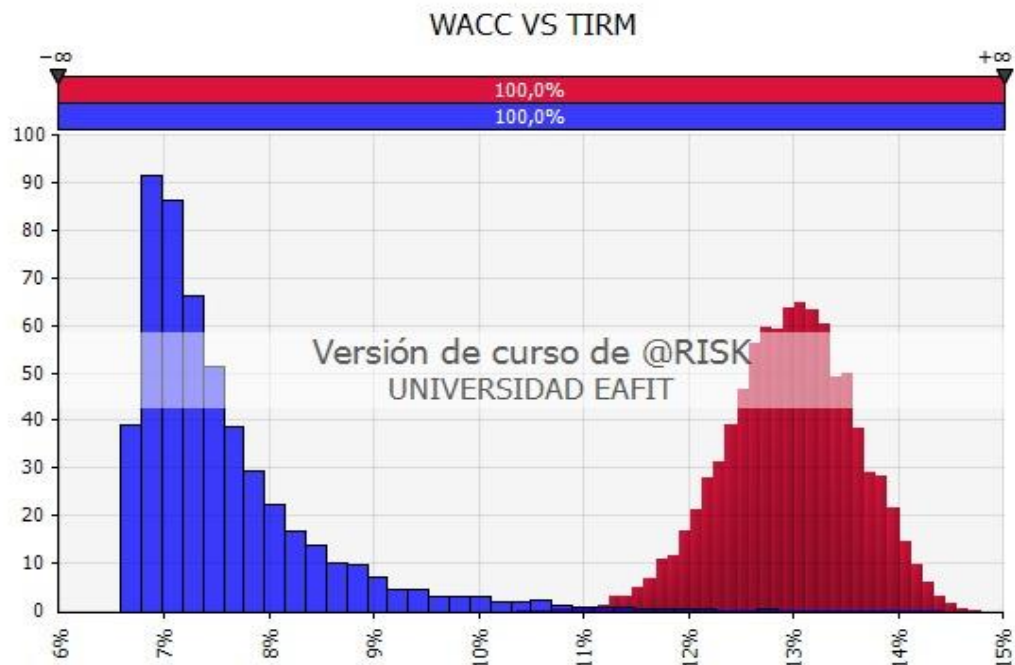
Tabla 41 Estadísticos de la TIRM

Estadísticos TIRM	Valor
Valor Mínimo Probable	10,36%
Valor Máximo Probable	14,79%
Media	12,98%
Desviación Estandar	0,62%
Valor Mínimo Intervalo de Confianza	11,93%
Valor Máximo Intervalo de Confianza	13,96%

Fuente: elaboración propia

De igual manera, en la ilustración 42, que se presenta a continuación, se muestra que existe poca o nula probabilidad (0,00%) de que la función modelada para encontrar el WACC supere la variable de salida TIRM, lo que puede resultar interesante para inversionistas y demás partes interesadas.

Ilustración 42 WACC versus TIRM

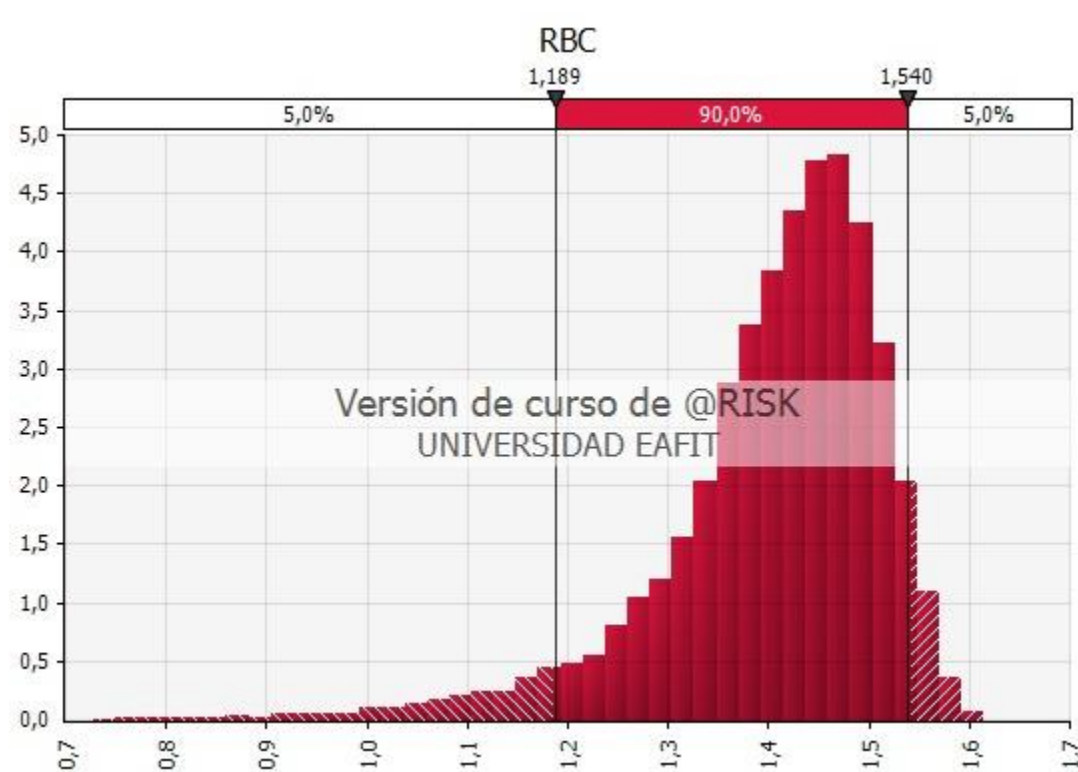


Fuente: elaboración propia

### Análisis de la relación beneficio-costos

Según los resultados que se mostrarán a continuación, se espera que en el proyecto ingresen \$1,41 por cada \$1 de egreso, con una desviación estandar de \$0,11, lo que lleva a estimar que la RBC mínima probable es \$0,73 y la máxima de \$1,62 que ingresan. En cuanto al análisis, con una confianza del 90% se puede afirmar que la RBC se puede ubicar entre \$1,19 y \$1,54, lo que es aceptable para el proyecto pues ambas relaciones son mayores que 1, es decir, ingresan más pesos de los que egresan. Por último, la probabilidad de que este indicador sea menor que 1 es del 5%.

Ilustración 43 RBC



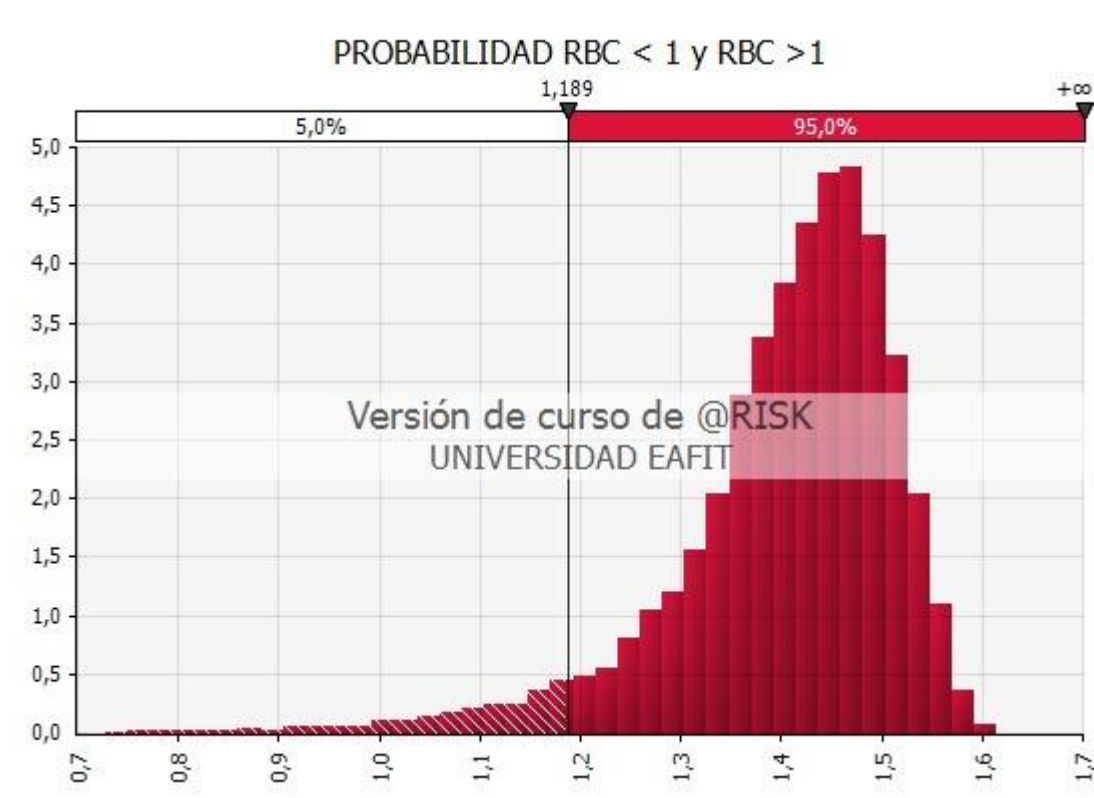
Fuente: elaboración propia

Tabla 42 Estadísticos de la RBC

Estadísticos RBC	Valor
Valor Mínimo Probable	0,73
Valor Máximo Probable	1,62
Media	1,41
Desviación Estandar	0,11
Valor Mínimo Intervalo de Confianza	1,19
Valor Máximo Intervalo de Confianza	1,54

Fuente: elaboración propia

Ilustración 44 Probabilidades de que RBC < 1 y RBC > 1

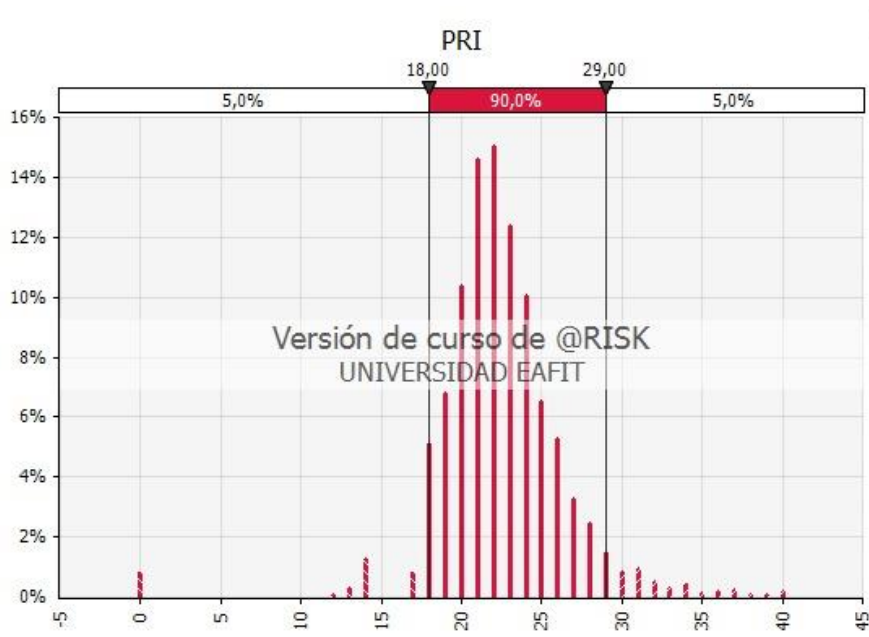


Fuente: elaboración propia

**Análisis del período de recuperación de la inversión (PRI)**

Se espera que la inversión sea recuperada en el quinto mes del período 22 (22,43), con una desviación de 3,97 años. Existe cierta probabilidad de que se recupere durante cualquier período del proyecto pero después de analizar el intervalo de confianza se puede concluir que, con una certeza del 90%, la inversión se puede recuperar entre los períodos 18 y 19.

Ilustración 45 PRI



Fuente: elaboración propia



Tabla 43 Estadísticos del PRI

Estadísticos PRI	Valor
Valor Mínimo Probable	-
Valor Máximo Probable	40,00
Media	22,43
Desviación Estandar	3,97
Valor Mínimo Intervalo de Confianza	18,00
Valor Máximo Intervalo de Confianza	29,00

Fuente: elaboración propia

De igual manera, se analizó la probabilidad de recuperar la inversión en los quinquenios del proyecto, que se resume en la siguiente tabla. Se puede garantizar al inversionista con alto nivel de certeza que la recuperación de la inversión ocurrirá antes del período 30.

Tabla 44 Análisis del PRI

ANÁLISIS PRI - PROBABILIDAD DE RECUPERAR LA INVERSIÓN ANTES DEL PERIODO...			
5	10	15	20
0,800%	0,800%	2,360%	25,390%
25	30	35	40
83,900%	97,170%	99,340%	100,000%

Fuente: elaboración propia

#### 6.4. Actividades relativas a los riesgos

El análisis de riesgos de este trabajo se fundamentó, en lo primordial, en los aspectos más relevantes que pueden impactar de manera significativa el éxito del proyecto, identificados sobre todo en los estudios técnico, ambiental, legal y financiero; se abarcaron, de esta manera, las etapas de preinversión, inversión y operación. De igual manera, los riesgos se cuantificaron gracias a un modelo

probabilístico que se explica de modo detallado en este capítulo. La profundidad respectiva está de acuerdo con el alcance de un estudio de prefactibilidad, en el que los datos se tomaron, en su mayoría, de fuentes secundarias.

#### **6.4.1. Análisis cualitativo de los riesgos**

Para facilitar la identificación de los riesgos se dividió el entorno del proyecto en aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales (PESTEL), se llevó a cabo una lluvia de ideas sobre posibles riesgos y se seleccionaron 12. En seguida se creó un código único de identidad para cada riesgo (1, 2, 3...) y se le asignó su respectivo nombre. Luego, cada uno de los riesgos se describió con una metodología de tres dimensiones que incluyen la causa, el riesgo y el efecto de la siguiente manera: debido a la **causa**, puede ocurrir el **riesgo** que provocaría el **efecto**.

Una de las partes más importantes del modelo de riesgos tiene que ver con la asignación de probabilidades anuales de ocurrencia y los posibles rangos de impactos que pudiese generar la ocurrencia de ellos. Por ello, dichos valores se asignaron gracias al apoyo y la información de expertos y con base en datos históricos. Por último, en la cualificación se recomienda una estrategia de administración del riesgo (asumir, reducir, eliminar o transferir), según la opinión del equipo de investigación.

Tabla 45 Identificación de los riesgos

TIPO	ID	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
Político	1	Atentado en infraestructura férrea	Debido al conflicto armado que se presenta en el país, puede ocurrir que grupos al margen de ley efectúen atentados en contra de la infraestructura física del sistema, lo que provocaría impactos negativos en las finanzas de la empresa
Económico	2	Variación en la tasa de cambio (TRM > \$3.500)	Debido a cambios macroeconómicos y del mercado del petróleo, puede ocurrir que la tasa de cambio supere la barrera de los \$ 3500, lo que provocaría sobrecostos en algunos rubros, como los repuestos importados de los trenes
Económico	3	Incumplimiento de pago de cuentas por cobrar	Debido a que algunos clientes no cancelen a tiempo sus cuentas al operador, puede ocurrir un impacto negativo en los estados de resultados, lo que provocaría pérdidas para la empresa
Social	4	Sobrecostos en la adquisición de predios a lo largo del trazado	Debido a inconvenientes en la adquisición de predios, pueden ocurrir retrasos significativos en la ejecución del proyecto, lo que provocaría gastos inesperados en el proyecto
Social	5	Retrasos por oposición de las comunidades (entre cinco y doce meses)	Debido a que el proyecto por ejecutar impactará a diferentes comunidades del centro de Antioquia y del Urabá antioqueño, puede ocurrir que algunas comunidades se opongan a la construcción del sistema, lo que ocasionaría retrasos en la ejecución y conduciría a gastos inesperados
Tecnológico	6	Inhabilidad de los vehículos por fallas mecánicas	Debido a que los vehículos son propensos a presentar fallas mecánicas, puede ocurrir que algunos de ellos queden inhabilitados para operar, lo que provocaría una

		(de uno a cuatro meses)	disminución en el número de toneladas por movilizar al día
Tecnológico	7	Construcción de obras no previstas	Debido a que no se tiene total conocimiento de las características del terreno por el que pasará la línea férrea, puede ocurrir que se necesite construir obras adicionales, lo que provocaría un sobre costo en la ejecución total del proyecto
Ecológico	8	Inhabilidad de la vía por derrumbe bajo tierra (entre cinco y 30 días)	Debido a posibles caídas de rocas sobre los rieles dentro de los túneles, puede ocurrir que se presenten cierres en la vía, lo que provocaría disminuciones en el número de toneladas movilizadas por día
Ecológico	9	Inhabilidad de la vía por derrumbe a cielo abierto (entre cinco y 30 días)	Debido a las zonas geológicamente inestables por las que pasará la línea férrea, pueden suceder derrumbes, lo que provocaría cierres en la vía e impactaría en sentido negativo en los ingresos diarios por la cantidad de toneladas movilizadas
Ecológico	10	Inhabilidad de la vía por movimientos de la masa de suelo (entre 30 y 90 días)	Debido a las zonas geológicamente inestables por las que pasará la línea férrea, pueden ocurrir movimientos en la masa del suelo, lo que provocaría daños en la infraestructura férrea y ocasionaría cierres en la vía
Legal	11	Sobre costos por cambio de diseño según resolución de la licencia ambiental	Debido a que es un proyecto de infraestructura y de gran magnitud, que pasará por diferentes territorios, puede ocurrir que se den complicaciones para el otorgamiento de la licencia ambiental, lo que provocaría un incremento en los costos del proyecto por cambios en los diseños, retrasos en el inicio y aumento en las medidas de compensación, entre otras posibilidades

Legal	12	Muerte por accidente en obra	Debido a que la construcción es una actividad de alto riesgo, puede ocurrir que se presente algún accidente mortal, lo que provocaría sobrecostos por sanciones, retrasos por investigaciones e indemnizaciones
-------	----	------------------------------	---

Nota: ID = número de identificación

Fuente: elaboración propia

Tabla 46 Impactos de los riesgos

ID	PROBABILIDAD (porcentaje)	IMPACTO MÍNIMO	IMPACTO MEDIO	IMPACTO MÁXIMO	ESTRATEGIA
1	3	\$23.016.000.000	\$34.524.000.000	\$54.663.000.000	Reducir
2	1	\$2.157.750.000	\$3.308.550.000	\$5.178.600.000	Reducir
3	5	\$1.438.500.000	\$2.675.610.000	\$3.164.700.000	Asumir
4	25	\$8.631.000.000	\$23.016.000.000	\$34.524.000.000	Asumir
5	5	\$6.617.100.000		\$15.248.100.000	Reducir
6	2	\$2.502.990.000		\$12.946.500.000	Reducir
7	18	\$6.617.100.000		\$33.085.500.000	Asumir
8	0	\$575.400.000		\$5.178.600.000	transferir
9	1	\$493.393.992		\$2.466.964.206	transferir
10	5	\$1.122.030.000		\$9.494.100.000	transferir
11	30	\$23.016.000.000	\$57.540.000.000	\$187.005.000.000	Asumir
12	5	\$287.700.000	\$863.100.000	\$1.726.200.000	Transferir

Nota: ID = número de identificación

Fuente: elaboración propia

### Explicación de los riesgos

ID 1: la probabilidad de ocurrencia de un atentado terrorista se calculó al tener en cuenta datos históricos de los últimos 30 años en Colombia, porque incidentes en

contra de oleoductos, torres de energía, puentes y vehículos, entre otros. El impacto se cuantificó con base en el costo de reparación de un tramo de 1 km de vía y los beneficios dejados de percibir durante cuatro meses en los años de referencia 5, 10 y 20.

ID 2: la probabilidad de que la TRM sea mayor a los \$3.500 conduce a que los impactos debidos a la variación del mencionado indicador se calcularan al tener en cuenta los cambios de las utilidades de los años de referencia 5, 10 y 20.

ID 3: la probabilidad de ocurrencia y el impacto de las cuentas por cobrar perdidas se calcularon mediante el análisis de los estados financieros de operadores férreos como Ferrocarriles del Pacífico S. A. (FEPASA).

ID 4: la probabilidad de ocurrencia y el impacto de tener complicaciones en relación a la gestión predial durante la etapa de construcción se calcularon al tener en cuenta datos históricos de los sobrecostos que han presentado algunos proyectos de infraestructura vial en Colombia en los últimos 15 años.

ID 5: la probabilidad de ocurrencia de tener retrasos por oposición de la comunidad durante la etapa de construcción se calculó al considerar datos históricos de situaciones ocurridas en proyectos de infraestructura vial de los últimos 15 años. El impacto se calculó al tomar como referencia los costos indirectos de construcción de un mes de trabajo.

ID 6: la probabilidad de ocurrencia de fallas mecánicas en los vehículos se calculó según el historial de operaciones de las redes férreas chilenas y mexicanas. Los impactos se cuantificaron al tener en cuenta la reducción de la capacidad instalada del sistema.

ID 7: la probabilidad de ocurrencia y el impacto por la construcción de obras no previstas se calcularon al considerar la diferencia entre presupuestos construidos con un nivel de profundidad preliminar y uno con una profundidad media.

ID 8: la probabilidad de ocurrencia del cierre de la vía por derrumbes dentro de un túnel se calculó a partir de datos históricos de incidentes similares de la red férrea y vial de Colombia, México, Ecuador y Chile. El impacto se cuantificó a partir del número de toneladas no movilizadas de un día, al tomar como referencia los años 5, 10 y 20.

ID 9: la probabilidad de ocurrencia del cierre de la vía por derrumbes sobre la misma a cielo abierto se calculó a partir de datos históricos de incidentes comparables de la red férrea y vial de Colombia, México, Ecuador y Chile. El impacto se cuantificó a partir del número de toneladas no movilizadas de un día, al considerar como referencia los años 5, 10 y 20.

ID 10: la probabilidad de ocurrencia del cierre de la vía por movimientos en la masa del suelo sobre misma vía a cielo abierto se calculó a partir de datos históricos de la red vial de Colombia. El impacto se cuantificó a partir del número de toneladas no movilizadas de un día, al tomar como referencia los años 5, 10 y 20.

ID 11: la probabilidad de ocurrencia y los impactos de incurrir en sobrecostos por cambio de diseño debidos a cambios en la resolución de la licencia ambiental se calcularon a partir de las diferencias entre presupuestos de construcción de proyectos de infraestructura vial en Colombia, antes y después de las resoluciones de las licencias ambientales.

ID 12: la probabilidad de ocurrencia y los impactos de muertes accidentales se calcularon a partir de históricos de proyectos de la infraestructura vial en Colombia.

## 6.4.2. Análisis cuantitativo de los riesgos

### 6.4.2.1. Construcción del modelo

Al considerar los anteriores eventos de riesgo se elaboró un modelo que incluyó funciones uniformes para modelar los impactos de límite inferior y superior y funciones triangulares para modelar los impactos con valores mínimos, medios y máximos. De igual manera, se modelaron funciones de Poisson para trabajar las probabilidades de ocurrencia, tal cual se mencionará más adelante. El punto de partida para el análisis cuantitativo fue la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 47 Matriz de riesgos

ID	NOMBRE	PROBABILIDAD (%)	IMPACTO MÍNIMO	IMPACTO MEDIO	IMPACTO MÁXIMO
1	Atentado en infraestructura férrea	3,00%	\$ 23.016.000.000	\$ 34.524.000.000	\$ 54.663.000.000
2	Variación tasa de cambio (TRM>\$3.500 COP)	1,10%	\$ 2.157.750.000	\$ 3.308.550.000	\$ 5.178.600.000
3	Incumplimiento cuentas por cobrar	5,00%	\$ 1.438.500.000	\$ 2.675.610.000	\$ 3.164.700.000
4	Sobrecostos en la adquisición de predios a lo largo del trazado	25,00%	\$ 8.631.000.000	\$ 23.016.000.000	\$ 34.524.000.000
5	Retrasos por oposición de las comunidades (entre 5 y 12 meses)	5,00%	\$ 6.617.100.000		\$ 15.248.100.000
6	Inhabilidad de los vehículos por fallas mecánicas (de 1 a 4 meses)	2,00%	\$ 2.502.990.000		\$ 12.946.500.000
7	Construcción obras no previstas	18,00%	\$ 6.617.100.000		\$ 33.085.500.000
8	Inhabilidad de la vía por derrumbe bajo tierra (entre 5 y 30 días)	0,05%	\$ 575.400.000		\$ 5.178.600.000
9	Inhabilidad de la vía por derrumbe a cielo abierto (entre 5 y 30 días)	1,10%	\$ 493.393.992		\$ 2.466.964.206
10	Inhabilidad de la vía por moviminetos de la masa de suelo (30 y 90 días)	5,00%	\$ 1.122.030.000		\$ 9.494.100.000
11	Sobrecostos por cambio de diseño según resolución de la licencia ambiental	30,00%	\$ 23.016.000.000	\$ 57.540.000.000	\$ 187.005.000.000
12	Muerte fatal por accidente en obra	5,00%	\$ 287.700.000	\$ 863.100.000	\$ 1.726.200.000

Nota: ID = número de identificación

Fuente: elaboración propia

Se elaboró en seguida la matriz de probabilidades al tener en cuenta que hay eventos que solo puede ocurrir en el período 0, como 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, y otros que pueden ocurrir desde el período 1 en adelante. Para efectos académicos, se



supuso que la probabilidad obtenida del análisis cualitativo será la misma para todos los años en que pudiese ocurrir el evento. Ver tabla 48.

Tabla 48 Matriz de probabilidades

MATRIZ DE PROBABILIDADES																																															
ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40						
1		3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%					
2		1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%				
3		5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%			
4	25%																																														
5	5%																																														
6		2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%			
7	18%																																														
8	0%																																														
9	1%																																														
10	5%																																														
11	30%																																														
12	5%																																														

Nota: ID = número de identificación

Fuente: elaboración propia

Más tarde, para cada riesgo en cada período en que pudiese ocurrir se trabajó con una función de Poisson en la que se tomó como probabilidad lambda cada uno de los valores de la matriz de probabilidades, con el fin de transformarlas en frecuencias. Se utilizó la fórmula de @Risk 7.5 de RiskPoisson(lambda), de la que se obtuvo como resultado la siguiente matriz de frecuencias:

Tabla 49 Matriz de frecuencias

MATRIZ DE FRECUENCIA																																																				
ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	TOTAL VECES DE RIESGO EN EL PROYECTO										
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	0																																																			
5	0																																																			
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
7	0																																																			
8	0																																																			
9	0																																																			
10	0																																																			
11	0																																																			
12	0																																																			
TOTAL EVENTOS AL AÑO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: ID = número de identificación

Fuente: elaboración propia

Si se continúa con el modelo es importante aclarar que se supuso que los impactos de cada uno de los riesgos serían los mismos durante todos los períodos en que pudiesen materializarse. En seguida se modelaron funciones uniformes con la fórmula = Riskuniform(límite inferior;límite superior) y funciones triangulares con la fórmula = Risktriang(mínimo,medio,máximo). La siguiente tabla muestra en color azul valores estáticos (fotografía) del resultado de dichas funciones; cabe resaltar que los valores que aparecen del período 2 en adelante con el símbolo # son los mismos del período 1.

Tabla 50 Matriz de severidad

MATRIZ DE SEVERIDAD																																										
FUNCIÓN	ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Triangular	1		\$ 37.401.000.000	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#		
Triangular	2		\$ 3.548.300.000	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
Triangular	3		\$ 2.426.270.000	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
Triangular	4	\$ 22.057.000.000																																								
Uniforme	5	\$ 10.932.600.000																																								
Uniforme	6	\$ 7.724.745.000	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	
Uniforme	7	\$ 19.851.300.000																																								
Uniforme	8	\$ 2.877.000.000																																								
Uniforme	9	\$ 1.480.179.099																																								
Uniforme	10	\$ 5.308.065.000																																								
Triangular	11	\$ 89.187.000.000																																								
Triangular	12	\$ 959.000.000																																								

Nota: ID = número de identificación

Fuente: elaboración propia

Con posterioridad se elaboró una matriz de impacto probable multidireccional gracias a la función Riskcompound, que tiene como datos de entrada las dos matrices anteriores; el objetivo de trabajar con esta fórmula fue poder generar una función de severidad (triangular o uniforme) para cada vez que el riesgo se

materialice. Es decir, si un evento llegase a ocurrir dos veces en el mismo período, se crearían dos impactos independientes pero que tienen los mismos patrones de entrada.

Tabla 51 Matriz de impacto probable multidireccional

MATRIZ DE IMPACTO PROBABLE MULTIDIRECCIONAL (RISKCOMPOUND)																																										
ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
1		910007893	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###		
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3		121411982	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###	###
4	5529592951																																									
5	547493795																																									
6		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	3589148152																																									
8	0																																									
9	0																																									
10	266505695																																									
11	\$ -																																									
12	\$ 48.050.874																																									
FLUJO DE CAJA RIESGOS	\$ 9.980.791.467	\$ 1.031.419.875	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##

Fuente: elaboración propia

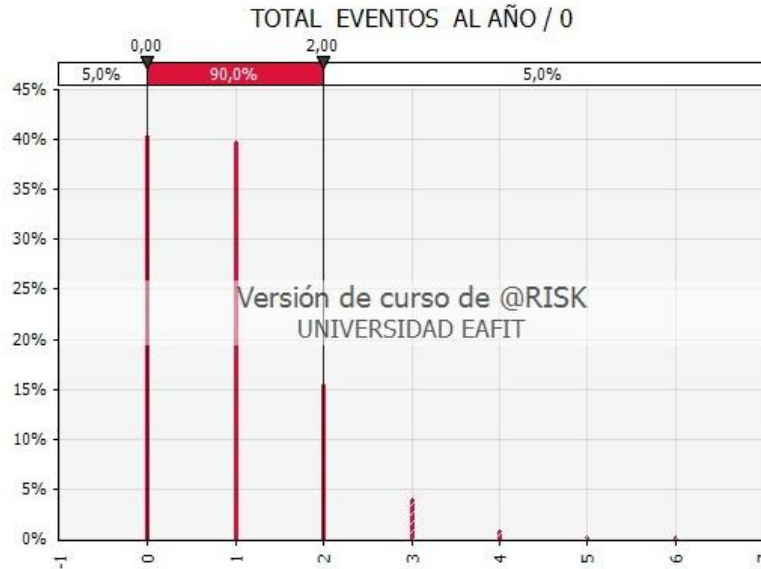
La sumatoria de cada año fue el correspondiente flujo de caja de los riesgos, para los cuales se encontró el VPN al descontar dichos flujos con el WACC.

### 6.4.2.2. Simulación del modelo

El modelo hasta acá construido cuenta con 504 variables de entrada de probabilidades, impactos e interacciones entre ellas y se canalizaron en tres variables de salida de interés que se analizaron: VPN de los riesgos, eventos en el año 0 y total de eventos durante el proyecto.

6.4.2.3. Análisis de resultados

Ilustración 46 Total de eventos en el año



Fuente: elaboración propia

Tabla 52 Análisis de eventos en el año 0

ANÁLISIS DE EVENTOS EN EL AÑO 0	
VALOR ESPERADO DE RIESGOS EN EL AÑO 0	1
VALOR MÍNIMO PROBABLE DE RIESGOS EN EL AÑO 0	0
VALOR MÁXIMO PROBABLE DE RIESGOS EN EL AÑO 0	6
LÍMITE INFERIOR INTERVALO DE CONFIANZA # RIESGOS AÑO 0	0
LÍMITE SUPERIOR INTERVALO DE CONFIANZA # RIESGOS AÑO 0	2

Fuente: elaboración propia

Tal cual se muestra en la ilustración anterior, con una confianza del 90% se podría afirmar que ocurrirán entre cero y dos eventos en el período 0, pero de igual manera hay que tener en cuenta que existe la probabilidad de que ocurran hasta seis eventos de riesgo y que lo más probable es que ocurra un solo evento.

Ilustración 47 Total de eventos en el proyecto



Fuente: elaboración propia

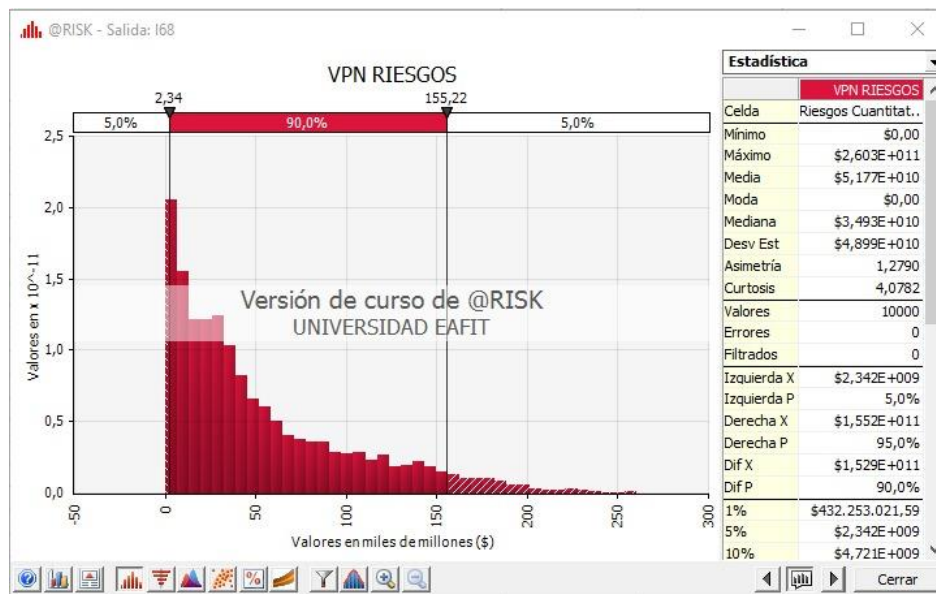
Ilustración 48 Análisis de eventos en el proyecto

ANÁLISIS DE EVENTOS EN EL PROYECTO	
VALOR ESPERADO DE RIESGOS EN EL PROYECTO	5
VALOR MÍNIMO PROBABLE DE RIESGOS EN EL PROYECTO	0
VALOR MÁXIMO PROBABLE DE RIESGOS EN EL PROYECTO	15
LÍMITE INFERIOR INTERVALO DE CONFIANZA # RIESGOS PROYECTO	2
LÍMITE SUPERIOR INTERVALO DE CONFIANZA # RIESGOS PROYECTO	9

Fuente: elaboración propia

Tal cual se muestra en la ilustración anterior, con una confianza del 90% se podría afirmar que ocurrirán entre dos y nueve eventos durante todo el proyecto, pero de igual manera hay que tener en cuenta que existe la probabilidad de que ocurran hasta 15 eventos de riesgo y que lo más probable es que ocurran cinco eventos.

Ilustración 49 VPN de los riesgos



Fuente: elaboración propia

Tabla 53 Indicador

INDICADOR	VALOR
VPN RIESGOS	\$ 22.877.749.882
VALOR ESPERADO RIESGOS	\$ 51.769.047.084
VPN PROYECTO	\$ 4.292.617.595.172
VPN REAL	\$ 4.269.739.845.290
RATIO SHARP	1,21%
VPN LIBRE DE RIESGOS	98,79%
Probabilidad de VPN Riesgos mayor al VPN del Proyecto	0,000%

Fuente: elaboración propia

Con una confianza del 90% se puede suponer que los riesgos tendrán un valor entre 2.340 millones y 155.220 millones de pesos, con un resultado esperado de la variable valor esperado de riesgos con un valor de alrededor de 51.769 millones de pesos; hay que tener en cuenta que los riesgos pueden no ocurrir y costar 0 pesos o que, en el peor escenario, podrían alcanzar un valor aproximado de 250.000 millones de pesos.

El VPN real es la resta entre el VPN del proyecto y el VPN de los riesgos; tiene un valor de \$4.269.739.845.290. Según el indicador denominado razón de Sharpe (valor esperado en riesgos / VPN del proyecto), el 1,21% del VPN estará en riesgo, mientras que el 98,79% será el VPN libre de riesgos. La probabilidad de que la función VPN de los riesgos supere la función del VPN del proyecto es 0,000%.

## **7. Conclusiones**

- La viabilidad de este proyecto se fundamenta en la oportunidad de negocio, producto del desarrollo de las terminales portuarias del golfo de Urabá. Hasta la fecha, son tres proyectos de iniciativa privada que se encuentran próximos a iniciar sus etapas de inversión. El estudio de mercado del presente trabajo se fundamentó en las cifras entregadas por los proyectos portuarios, que indican que la movilización de carga a través del sistema férreo sea directamente proporcional a la carga movilizada en dichas terminales marítimas. Cabe resaltar que las proyecciones de la demanda superan con amplitud la capacidad instalada del sistema férreo a partir del tercio medio del período de evaluación del proyecto, lo que señala, de manera positiva, un margen del mercado que permite la viabilidad económica para realizar la inversión.

- La evaluación ambiental es uno de los instrumentos preventivos de gestión ambiental que enmarca los principales impactos que se tendrán en el medio ambiente con la ejecución del proyecto objeto de estudio. Con la evaluación de impactos ambientales se puede concluir o determinar que los impactos ambientales más severos tienen que ver con el aire en cuanto a la emisión de material particulado, la erosión por remoción de cobertura vegetal y las modificaciones del paisaje, así como también las medidas de mitigación y prevención, como, por ejemplo, conservar, en la medida que sea posible, los retiros de las fuentes de agua, almacenar suelo orgánico removido, hacer uso de *saran* u otro tipo de alternativa para causar el menor impacto visual posible y así ejecutar en forma óptima la construcción del sistema férreo. Debido al alcance de este trabajo, la evaluación ambiental para esta etapa se planteó en la identificación y la evaluación por medio de la metodología de Arboleda González (2008) de los impactos ambientales y sociales, de los que, desde el punto de vista teórico, la modificación del paisaje, la erosión por remoción de cobertura vegetal y la contaminación por emisiones de material particulado son los más relevantes y a los que se les deberán aplicar las medidas sugeridas y necesarias para la prevención, la mitigación y la compensación de sus acciones. Desde la perspectiva teórica del EIA aplicado, el proyecto en la forma que fue planteado es viable; sin embargo, se deberán adaptar los planes de seguimiento y monitoreo y trabajar de acuerdo con la normativa legal vigente para no generar inconveniente alguno al medio ambiente y a la región.
- El estudio de prefactibilidad tiene como objetivo principal brindar información que genere el interés de inversión a posibles promotores de esta propuesta a través de la estructuración de un proyecto que integra diferentes elementos del entorno genérico y específico, al ponerlos en el contexto de la realidad colombiana. La estructuración del proyecto se hizo al tener en cuenta



variables de entrada que abarcaran un amplio rango de escenarios o condiciones de los diferentes interesados en impulsar una iniciativa como la estudiada. Una etapa posterior a este estudio de prefactibilidad es el de factibilidad. En esta nueva etapa del proyecto se debe tener un mayor grado de certeza de las condiciones y los intereses que el promotor (o promotores) tenga, puesto que es el que determina las variables de entrada del esquema propuesto en la etapa de prefactibilidad y las ajusta a las necesidades propias.

- Del estudio del entorno se identificó la oportunidad de negocio, producto de la futura realización, en el corto y el mediano plazo, de los proyectos portuarios en el golfo de Urabá y, a través del estudio de mercado, se cuantificaron los beneficios potenciales que podría adquirir un posible inversionista. De los estudios técnico, ambiental y legal se estimaron los requerimientos necesarios para poder obtener los beneficios de esa oportunidad de negocio. Con el fin de integrar los elementos encontrados en las actividades anteriores se estructuró un esquema organizacional y financiero acorde con las características de la complejidad de una iniciativa como la analizada. A partir de dichas actividades se calculó el costo económico de la incertidumbre en esta etapa temprana del proyecto y se consolidó, junto con los beneficios esperados por los interesados del proyecto. Los resultados muestran un balance positivo, que inclina la balanza a indicar que es pertinente avanzar a una siguiente fase (factibilidad) en la que se tenga un mayor grado de profundidad en la información y, por ende, un menor grado de riesgo.

## Referencias

- Actualícese (2016, 27 de enero). Coordinador de contabilidad: responsabilidades, conocimientos y funciones. *Actualícese*. Recuperado el 20 de diciembre de 2017 de <https://actualicese.com/actualidad/2016/01/27/coordinador-de-contabilidad-responsabilidades-conocimientos-y-funciones/>
- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, ADIF (2008). *Conceptos básicos ferroviarios*. Madrid: ADIF. Recuperado de [http://www.adif.es/es\\_ES/conoceradif/oferta\\_de\\_empleo\\_publico/doc/08\\_fc\\_ConceptosFerroviarios.pdf](http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/oferta_de_empleo_publico/doc/08_fc_ConceptosFerroviarios.pdf)
- Aeronáutica Civil (2017a, 5 de marzo). *Gobierno Nacional invierte \$5.1 billones en modernización de infraestructura aeroportuaria del país*. Bogotá: Aeronáutica Civil. Recuperado de [http://www.aerocivil.gov.co/prensa/noticias/Pages/Gobierno-Nacional-invierte-\\$5.1-billones-en-modernizaci%C3%B3n-de-infraestructura-aeroportuaria-del-pa%C3%ADs.aspx](http://www.aerocivil.gov.co/prensa/noticias/Pages/Gobierno-Nacional-invierte-$5.1-billones-en-modernizaci%C3%B3n-de-infraestructura-aeroportuaria-del-pa%C3%ADs.aspx)
- Aeronáutica Civil (2017b). *La aviación en cifras. Edición 2017*. Bogotá: Aeronáutica Civil. Recuperado de <http://www.aerocivil.gov.co/Potada/revi.pdf>
- Agencia de la ONU para los Refugiados, ACNUR (2004, agosto). ...Ginebra: ACNUR. Recuperado el 13 de noviembre de 2017 de [www.acnur.org](http://www.acnur.org)
- Agencia Nacional de Infraestructura, ANI (2015a). *Presentación del megaproyecto autopistas para la prosperidad. Informe general. ANI en proyecto análisis de las implicaciones sociales y económicas de las autopistas para la prosperidad en el departamento de Antioquia*. Bogotá: ANI. Recuperado de [http://www.ocudos.com/empresas/gobernacion/wp-content/uploads/2015/11/Presentacion\\_241115.pdf](http://www.ocudos.com/empresas/gobernacion/wp-content/uploads/2015/11/Presentacion_241115.pdf)
- Agencia Nacional de Infraestructura, ANI (2015b). *Proyectos férreos Contractual*. ANI. Bogotá: ANI. Recuperado de ...
- Agencia Nacional de Infraestructura, ANI (2016). *Informe de gestión año 2015*. Bogotá: ANI. Recuperado de <http://www.ani.gov.co/informe-anual-de-gestion>

- Alcaldía de Medellín (2013). *Guía de manejo socioambiental para la construcción de obras de infraestructura pública*. Medellín: Alcaldía de Medellín. Recuperado de [https://www.medellin.gov.co/servicios/siamed\\_portal/siamed/documentos/Digital/GuiaSociAmbiental2014.pdf](https://www.medellin.gov.co/servicios/siamed_portal/siamed/documentos/Digital/GuiaSociAmbiental2014.pdf)
- Andyberna (2009, 7 de noviembre). Urabá: la tierra prometida. *blogdiario*. Recuperado de <http://andyberna.blogdiario.com/1257602809/urab-la-tierra-prometida/>
- Arboleda González, J. A. (2008). *Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. Medellín: el autor. Recuperado de [http://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual\\_EIA\\_Jorge%20Arboleda.pdf](http://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual_EIA_Jorge%20Arboleda.pdf)
- ArcelorMittal (2017). *Carril 115RE / TR57 (ARA/AREMA)*. ArcelorMittal. Recuperado de <http://rails.arcelormittal.com/tipos-rieles/arema-115re-tr57>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, AMVA, Alcaldía de Medellín y Empresas Públicas de Medellín, EPM (2009). *Manual de gestión socio-ambiental para obras en construcción* (Vol. I). Medellín: AMVA. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/IsdocConstruccionSostenible/Manual%20de%20gesti%C3%B3n%20socio-ambiental%20para%20obras%20en%20construcci%C3%B3n.pdf>
- Arias Jiménez, F. (2016, 27 de noviembre). *Así le fue en su primer año al plan maestro de transporte intermodal. El Colombiano*. Recuperado de <http://www.elcolombiano.com/negocios/economia/infraestructura-en-colombia-avances-y-frenos-ED5445464>
- Así se adelantan las obras ferroviarias en el país (2016, 23 de diciembre). *Dinero*. Recuperado de <http://www.dinero.com/edicion-impresa/infraestructura/articulo/las-obras-del-transporte-ferroviario-en-colombia/240445>
- Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles, ALAF (2014). Los ferrocarriles chilenos, su situación y perspectiva. *ALAF*, 42.

- Asociación Nacional de Instituciones Financieras, ANIF (2014). *Costos de transporte, multimodalismo y la competitividad de Colombia*. Bogotá: ANIF. Recuperado de [http://www.anif.co/sites/default/files/investigaciones/libro\\_multimodalismo\\_anif-cci\\_1.pdf](http://www.anif.co/sites/default/files/investigaciones/libro_multimodalismo_anif-cci_1.pdf)
- Ávila Forero, R. (2016, 1 de julio). Industria colombiana y desarrollo. *Dinero*. Recuperado de <http://www.dinero.com/opinion/columnistas/articulo/industria-colombiana-y-desarrollo-por-raul-avila/225246>
- Banco de la República (2015). *Sectores económicos*. Bogotá: Banco de la República. Recuperado de [http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/sectores\\_economicos](http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/sectores_economicos)
- Banco Mundial (2014, 9 de abril). *Transporte: resultados del sector*. Washington, DC: Banco Mundial. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/14/transport-results-profile>
- Banco Mundial (2017). *Promedio detallado de precipitaciones (mm anuales)*. Washington, DC: Banco Mundial. Recuperado de [https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?name\\_desc=false&view=map](https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM?name_desc=false&view=map)
- Bara, M. (2017). *10 aspectos esenciales en la gestión de contratos de un Project Manager*. Barcelona, Universitat de Barcelona, OBS Business School. Recuperado el 20 de diciembre de 2017 de <https://www.obs-edu.com/int/blog-investigacion/project-management/10-aspectos-esenciales-en-la-gestion-de-contratos-de-un-project-manager>
- Behrens, W., y Hawranek, P. M. (1994). *Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial*. Viena: ONUDI.
- Berrío Alzate, A. (2017, diciembre). *Inclusión de variables latentes en la estimación de la demanda de transporte para carga general y pasajeros. Aplicación a un sistema férreo entre Medellín y el Urabá antioqueño*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

- Bilstein, A. J. (2014, 30 de septiembre). La locomotora diesel eléctrica (I). *portal de trenes*. Recuperado de <http://portaldetrenes.com.ar/articulos/464/la-locomotora-diesel-electrica-i>
- Cámara Colombiana de la Infraestructura, CCI (2016, 21 de abril). *Seguimiento a proyectos de infraestructura*. Bogotá: CCI. Recuperado de <https://issuu.com/camaracci/docs/informeferrocarriles>
- Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (2017, 10 de agosto). *Desempeño económico de Antioquia: a recuperar la confianza en un entorno complejo*. Medellín: Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. Recuperado de [http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Rueda%20de%20prensa%2010%20de%20agosto%20de%202017%20\(002\)222-ilovepdf-compressed22222.pdf](http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Rueda%20de%20prensa%2010%20de%20agosto%20de%202017%20(002)222-ilovepdf-compressed22222.pdf)
- Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia (s.f.). *Perfil socioeconómico de Medellín y el valle de Aburrá*. Medellín: Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. Recuperado de [http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Publicaciones%20regionales/20-3Perfil%20Uraba\\_Oct14.pdf](http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2017/Publicaciones%20regionales/20-3Perfil%20Uraba_Oct14.pdf)
- Cámara de Comercio de Urabá (2013). *Informe socioeconómico*. Apartadó: Cámara de Comercio de Urabá. Recuperado de [http://ccuraba.org.co/site/wp-content/uploads/2016/03/informe\\_socioeconomico\\_2013.pdf](http://ccuraba.org.co/site/wp-content/uploads/2016/03/informe_socioeconomico_2013.pdf)
- Capel, H. (2007). Ferrocarril, territorio y ciudades. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 12(717). Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-717.htm>
- CCJ (2017). ... Apartadó: Cámara de Comercio de Urabá. Recuperado el 12 de noviembre de 2017, de [www.ccuraba.org.co](http://www.ccuraba.org.co)
- C. I. UNIBAN S. A., UNIBAN (2017, enero). ... Medellín: Unión de Bananeros de Colombia. Recuperado de ...
- Colombia sigue dando pasos para mejorar en competitividad (2016, 11 de diciembre). *El Tiempo*. Recuperado de

<http://www.eltiempo.com/economia/sectores/avances-de-colombia-en-competitividad-43608>

Congreso de Colombia (2012). *Ley 1508, de 10 de enero de 2012, por la cual se establece el régimen jurídico de las asociaciones público privadas, se dictan normas orgánicas de presupuesto y se dictan otras disposiciones*. Bogotá: Congreso de Colombia. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45329>

Congreso de Colombia (2016). *Ley 1819, de 29 de diciembre de 2016, por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones*. Bogotá: Congreso de Colombia. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=68189>

Consejo de Política Económica y Social, CONPES (2013, 20 de agosto). *Proyectos viales bajo el esquema de asociaciones público privadas: cuarta generación de concesiones viales* (documento 3760). Bogotá: CONPES. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3760.pdf>

Consortios miden sus fuerzas en autopistas de la prosperidad (2013, 26 de noviembre). *La República. La República*. Recuperado de <https://www.larepublica.co/economia/consorcios-miden-sus-fuerzas-en-autopistas-de-la-prosperidad-2085296>

Constructora Concreto, Grupo Elemental, Moffatt & Nichol y Exponencial (2016). *Darien international port*. Medellín: Constructora Concreto, Grupo Elemental, Moffatt & Nichol y Exponencial. Recuperado de [http://darieninternationalport.com/Content/Brochure\\_Darien.pdf](http://darieninternationalport.com/Content/Brochure_Darien.pdf)

Corporación Autónoma para el Desarrollo Sostenible de Urabá, Corpourabá (2012). *Plan de gestión ambiental regional 2012-2024*. Apartadó: Corpourabá. Recuperado de <http://corpouraba.gov.co/corporacion/planes-proyectos-institucionales/plan-de-la-gestion-ambiental-regional/>

Correa, É. (2011, 2 de marzo). Tendencias en el sector del transporte. *Gestiopolis*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/tendencias-sector-transporte/>

- ‘Crecimiento del sector manufacturero para este año comienza a ser visto con reservas’ (2017, 14 de febrero). *Portafolio*. Recuperado de <http://www.portafolio.co/economia/crece-produccion-industrial-en-colombia-2017-503380>
- Dalles, P. (2012, 4 de septiembre). ... *Color ABC*. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de [www.abc.com.py](http://www.abc.com.py)
- Davivienda (2016, 18 de octubre). *Colombia*. Bogotá: Davivienda. *Perspectivas macroeconómicas 2016-2017*. Recuperado de <https://www.davivienda.com/wps/wcm/connect/c50330b0-4d2a-481a-96fd-94fe0904f723/Colombia+-+Perspectivas+Macroeconómicas+2017.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=c50330b0-4d2a-481a-96fd-94fe0904f723>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE (2014a). *Documento técnico 4002-120-Vías férreas*. Bogotá: DANE. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/construccion/AFOC/2\\_Vias\\_Ferreas.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/construccion/AFOC/2_Vias_Ferreas.pdf)
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE (2014b). *Entrenamiento. Recolección segundo semestre-2015. Indicador de avance físico de obras civiles (IAFOC)*. Bogotá: DANE. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/construccion/AFOC/Pr\\_Entrenamiento\\_Especifico\\_IAFOC.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/construccion/AFOC/Pr_Entrenamiento_Especifico_IAFOC.pdf)
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE (2017, 22 de agosto). *Cuentas trimestrales-Colombia. Producto interno bruto (PIB). Segundo trimestre de 2017*. Bogotá: DANE. Recuperado de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol\\_PIB\\_Iltrim17\\_oferta\\_demanda.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_Iltrim17_oferta_demanda.pdf)
- Departamento Nacional de Planeación, DNP (2000). *Asociaciones público privadas en infraestructura en Colombia*. Bogotá: DNP.
- Departamento Nacional de Planeación, DNP (2013, abril.). *Manual de soporte conceptual. Metodología general para la formulación y evaluación de*

*proyectos*. Bogotá: DNP. Recuperado de <https://www.sgr.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=sGf0xqep7Og%3D&tabid=186&mid>

Departamento Nacional de Planeación, DNP (2017). *APP en infraestructura*. Bogotá: DNP.

Díaz Mendoza, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e investigación*, 31(3), 80-90. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/viewFile/26390/26725>

Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, DIAN (s.f.). ... Recuperado de DIAN: [http://www.dian.gov.co/...](http://www.dian.gov.co/)

Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal (México) (2011). *Relación de trámites que se gestionan por área*. México: Dirección General de Transporte Ferroviario y Multimodal. Recuperado el 15 de diciembre de 2017 de [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGTFM/CIS/Tripticos/Triptico\\_General.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGTFM/CIS/Tripticos/Triptico_General.pdf)

Dirección Nacional de Derecho de Autor (2017). *Perfil coordinador Sistemas*. Bogotá: Dirección Nacional de Derecho de Autor. Recuperado el 20 de diciembre de 2017 de <http://derechodeautor.gov.co/perfil-coordinador-sistemas>

Enciclopedia Financiera (s.f.). Capex. *Enciclopedia Financiera*. Recuperado de <http://www.encyclopediainanciera.com/definicion-capex.html>

Ferrocarril del Pacífico compró cuatro locomotoras (2015, 3 de marzo). *Dinero*. Recuperado de <http://www.dinero.com/pais/articulo/inversiones-del-ferrocarril-del-pacifico-fdp/206890>

Ferromex y Ferrosur reciben primeras locomotoras nuevas de un pedido de 34 (2015, 25 de marzo). *El Financiero*. Recuperado de [www.elfinanciero.com.mx/empresas/ferromex-y-ferrosur-reciben-primer-pedido-de-nuevas-locomotoras.html](http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/ferromex-y-ferrosur-reciben-primer-pedido-de-nuevas-locomotoras.html)



- Ferropedia (2012). Gálibo. *Ferropedia*. Recuperado de <http://www.ferropedia.es/wiki/G%C3%A1libo>
- Ferropedia (2013). Bogie. *Ferropedia*. Recuperado de <http://www.ferropedia.es/wiki/Bogie>
- Ferrovial S. A. (2009). *Ferrovial "El tren del progreso"*. Santa Cruz de la Sierra: Ferrovial. Recuperado el 15 de diciembre de 2017 de <http://www.fo.com.bo/AcercaDeNosotros/LaEmpresa/default.aspx>
- Financiera de Desarrollo Eléctrico Nacional, FDN (2018, 19 de enero). *Project Finance*. Bogotá: FDN. Recuperado de <http://www.fdn.com.co/es/financiacion/project-finance>
- Financiera de Desarrollo Territorial S. A., Findeter (2017, 26 de septiembre). *Tasa compensada infraestructura sostenible*. Bogotá: Findeter. Recuperado de [https://www.findeter.gov.co/publicaciones/condiciones\\_generales\\_tasa\\_compensada\\_infraestructura\\_sostenible\\_pub](https://www.findeter.gov.co/publicaciones/condiciones_generales_tasa_compensada_infraestructura_sostenible_pub)
- Gobernación de Antioquia (2014). *Anuario Estadístico de Antioquia (2013)*. Medellín: Gobernación de Antioquia, Departamento Administrativo de Planeación.
- Gobernación de Antioquia (2016). *Bases del plan de desarrollo de Antioquia "Pensando en grande 2016-2019"*. Medellín: Gobernación de Antioquia. Recuperado de <http://www.siipe.co/wp-content/uploads/2014/08/Plan-de-Desarrollo-Apartado%CC%81-2016-2019.pdf>
- Gobernación de Antioquia e Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC (2007). *Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas. Urabá. Departamento de Antioquia*. Medellín: Gobernación de Antioquia e IGAC. Recuperado de [http://www.academia.edu/28272404/ESTUDIO\\_SEMIDETALLADO\\_DE\\_SU\\_ELOS\\_DE\\_LAS\\_AREAS\\_POTENCIALMENTE\\_AGRICOLAS\\_EN\\_URAB%C3%81\\_ANTIOQUIA.pdf](http://www.academia.edu/28272404/ESTUDIO_SEMIDETALLADO_DE_SU_ELOS_DE_LAS_AREAS_POTENCIALMENTE_AGRICOLAS_EN_URAB%C3%81_ANTIOQUIA.pdf)
- Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia y Universidad Pontificia Bolivariana (2015). *Proyecto Análisis de las implicaciones sociales y*

- económicas de las autopistas para la prosperidad en el departamento de Antioquia*. Medellín: Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia y Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado de <http://www.ocudos.com/empresas/gobernacion/wp-content/uploads/2015/11/Caldas.pdf>
- Gómez, L. (2017). *Estructuración financiera de proyectos, Project Finance*. Medellín: ...
- Gómez Salazar, E. A., y Díez Benjumea, J. M. (2015). *Evaluación financiera de proyectos*. Medellín: los autores.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*, 5ª ed. México: McGraw-Hill.
- Issue Magazine (2016).
- Las 35 más (2014, 25 de julio). *Dinero*. Recuperado de <http://www.dinero.com/edicion-impresa/informe-especial/articulo/plantas-industriales-alto-desempeno-colombia/198889>
- Latorre, G. (1924). *Francisco Javier Cisneros y el Ferrocarril de Antioquia. Reseña histórica*. Medellín: Ferrocarril de Antioquia. Recuperado de [https://sites.google.com/site/.../historiaferrocarril\\_Antioquia\\_Fco\\_Ja.pdf](https://sites.google.com/site/.../historiaferrocarril_Antioquia_Fco_Ja.pdf)
- Martínez Ortiz, A., y García Romero, H. (2016). *Competitividad en el transporte aéreo en Colombia*. Bogotá: Fedesarrollo. Recuperado de <http://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/3280>
- Mejía Sanabria, C. A. (1998). Ferrocarriles colombianos en el siglo XIX. Inicio de una mentalidad moderna y tecnológica en el país. *Credencial Historia*, 198, ...-.... Recuperado de <http://www.banrepcultural.org/node/74872>
- Mercado, D. A. (2017, 4 de abril). *El peso social que carga la construcción de Puerto Darién en Necoclí*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/colombia/medellin/el-peso-social-que-carga-puerto-darién-en-necocli-73716>
- Mesquita Moreira, M., Volpe, C., y Blyde, J. S. (2010). *Destrabando las arterias. El impacto de los costos de transporte en el comercio en América Latina y el*

- Caribe. Washington, DC: BID. Recuperado de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/228/Destrabando%20las%20Arterias%20-%20Res%C3%BAmen%20Ejecutivo.pdf?sequence=1>
- Ministerio de Transporte (2013a). *Manual de normatividad férrea*. Bogotá: Ministerio de Transporte. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=10879>
- Ministerio de Transporte (2013b, 9 de diciembre). *Proyecto resolución manual férreo de especificaciones técnicas*. Bogotá: Ministerio de Transporte. Recuperado de [https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/Normatividad/Proyectos/proyectos\\_de\\_resoluciones/proyecto\\_resolucion\\_manual\\_ferreo\\_de\\_especificaciones\\_tecnicas](https://www.mintransporte.gov.co/Documentos/Normatividad/Proyectos/proyectos_de_resoluciones/proyecto_resolucion_manual_ferreo_de_especificaciones_tecnicas)
- Ministerio de Transporte (2016a). *Documentos corporativos. Estadísticas*. Bogotá: Ministerio de Transporte. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/visorpdf.php?id=15483&pdf=1>
- Ministerio de Transporte (2016b). Sistema de información de costos eficientes para el transporte automotor de carga (SICE-TAC). Bogotá: Ministerio de Transporte. Recuperado de [https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/en\\_linea/sistema\\_de\\_informacion\\_de\\_costos\\_eficientes\\_para\\_el\\_transporte\\_automotor\\_de\\_carga\\_sice-tac](https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/en_linea/sistema_de_informacion_de_costos_eficientes_para_el_transporte_automotor_de_carga_sice-tac)
- Ministerio de Transporte (2017, 1 de septiembre). *¿Quiénes somos?* Bogotá: Ministerio de Transporte. Recuperado de [https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/Ministerio/quienes\\_somos](https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/Ministerio/quienes_somos)
- Ministerio de Transporte y Consorcio Epypsa-Ardanuy (2012). *Informe ejecutivo. Estudio para la elaboración del marco normativo férreo colombiano enfocado en factores técnicos de diseño, construcción, mantenimiento, operación, control y aspectos de seguridad*. Bogotá: Ministerio de Transporte y Consorcio Epypsa-Ardanuy. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=10192>

- Ministerio de Transporte y Departamento Nacional de Planeación, DNP (2015). *Plan maestro fluvial de Colombia 2015*. Bogotá: Ministerio de Transporte y DNP. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=13276>
- Mi Terminal Cali (2017). *Coordinación operativa*. Cali: *Mi Terminal Cali*. Recuperado el 20 de diciembre de 2017 de <http://www.terminalcali.com/publicaciones.php?id=43234>
- Orienta Universia (2017). Perfil ocupacional. Salud ocupacional. *Orienta Universia*. Recuperado el 19 de diciembre de 2017 de [https://orientacion.universia.net.co/carreras\\_universitarias-146/perfil-profesional---salud-ocupacional-53.html](https://orientacion.universia.net.co/carreras_universitarias-146/perfil-profesional---salud-ocupacional-53.html)
- Ospina Zapata, G. (2015, 2 de noviembre). Transversal Las Américas acelera su paso en Urabá. *El Colombiano*. Recuperado de <http://www.elcolombiano.com/antioquia/obras/transversal-las-americas-acelera-su-paso-en-uraba-CC3026004>
- Ospina Zapata, G. (30 de mayo de 2016). Urabá espera ansiosa sus dos nuevos puertos. *El Colombiano*. Recuperado de <http://www.elcolombiano.com/antioquia/uraba-tendra-dos-puertos-en-operacion-en-2018-XH4238707>
- Pacheco Espejel, A., y Cruz Estrada, M. C. (2010). *Metodología crítica de la investigación. Lógica, procedimiento y técnicas. Guía para abordar en forma metodológica problemas de investigación básica, tecnológica y de intervención*. México: Grupo Editorial Patria. Recuperado de <https://es.slideshare.net/ekaterina1917/8-metodologa-crtica-de-la-investigacin-lgica-procedimiento-y-tnicas>
- Pedroza Villegas, K. (2016). *Caracterización financiera de los contratos de concesiones viales en Colombia. Estudio de caso* (trabajo de grado, Maestría en Contabilidad y Finanzas, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá). Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/55029/7/KatherinnePedrozaV.2016.pdf>

- Peralta Maniviesa, X. (2017). Las habilidades más valoradas en un vendedor. *Pymmerang*. Recuperado el 19 de diciembre de 2017 de <http://www.pymmerang.com/ventas-y-servicio/ventas/estrategia-de-ventas/disenio-de-la-fuerza-de-ventas/475-las-habilidades-mas-precizadas-en-las-ventas>
- Pérez V., G. J. (2005). *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia*. Cartagena: Banco de la República, documentos de trabajo sobre Economía Regional y Urbana, N° 64. Recuperado de <http://www.banrep.gov.co/es/contenidos/publicacion/infraestructura-del-transporte-vial-y-movilizacion-carga-colombia-05-octubre>
- PIO S. A. S. (2017). *Puerto Antioquia Urabá*. Cali y Apartadó: PIO S. A. S. Recuperado de <http://www.puertoantioquia.com.co/porta/es/facilidades/infraestructura/plataforma-offshore-muelle.html>
- Presidencia de la República (2011). *Decreto 87, del 17 de enero de 2011, por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Transporte, y se determinan las funciones de sus dependencias*. Bogotá: Presidencia de la República. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=13027>
- Puerto Turbo Pisisí (2017). *Operación*. Turbo: Puerto Turbo Pisisí. Recuperado de <http://puertopisisi.com/operacion/>
- Romero López, S. M. (2011). *Importancia del sistema férreo en Colombia para el comercio internacional del país* (trabajo de grado, programa de Administración de Empresas, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá). Recuperado de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/65869.pdf>
- Saavedra Crespo, M. A. (2017, 14 de mayo). Puerto Pisisí ya cuenta con cierre financiero y licencia ambiental. *El Mundo*. Recuperado de <http://www.elmundo.com/noticia/Puerto-Pisisi-ya-cuenta-con-cierre-financiero-y-licencia-ambiental/352299>

- SAS "The power to know". (2017). ... Bogotá: SAS Colombia. Recuperado el 15 de diciembre de 2017 de ...
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte (México) (2012). *Manual de procedimientos*. Recuperado el 19 de diciembre de 2017 de <http://www.sct.gob.mx/normatecaNew/wp-content/uploads/2014/02/MP-311.pdf>
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte (México) (2017). *Formato de descripción y perfil de puestos. Perfiles. Jefaturas. Jefe de departamento de transporte ferroviario*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transporte SCT. Recuperado el 16 de diciembre de 2017 de [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGRH/html\\_spc/perfiles/jefaturas/JEFE\\_DE\\_DEPARTAMENTO\\_DE\\_TRANSPORTE\\_FERROVIARIO.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGRH/html_spc/perfiles/jefaturas/JEFE_DE_DEPARTAMENTO_DE_TRANSPORTE_FERROVIARIO.pdf)
- Seleccionan consorcio para construir Puerto Antioquia en Urabá, Colombia (2016, 30 de noviembre). *Seleccionan consorcio para construir Puerto Antioquia en Urabá, Colombia. Mundo Marítimo*. Recuperado de <http://www.mundomaritimo.cl/noticias/seleccionan-consorcio-para-construir-puerto-antioquia-en-uraba-colombia>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia, SIAC (2017). *Sistema de Información Ambiental de Colombia*. Bogotá: SIAC. Recuperado el 14 de noviembre de 2017 de [www.siac.gov.co](http://www.siac.gov.co)
- Sociedad Portuaria de Turbo Pisisí S. A. (2017). *Puerto Pisisí*. Recuperado de <http://puertopisisi.com>
- Steer Davies Gleave (2011, 11 de julio). *Análisis de costos y competitividad de modos de transporte terrestre de carga interurbana*. Santiago de Chile: Steer Davies Gleave. Recuperado de <http://www.subtrans.cl/subtrans/doc/Informefinalcorregido.pdf>
- Superintendencia de Industria y Comercio, SIC (2012). *Estudio de mercados. Aeropuertos de Colombia (2010-2012)*. Bogotá: SIC. Recuperado de

- [www.sic.gov.co/recursos\\_user/documentos/promocion\\_competencia/Estudios\\_Economicos/Estudios\\_Economicos/Estudios\\_Mercado\\_Aeropuertos.pdf](http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudios_Mercado_Aeropuertos.pdf)  
Superintendencia de Puertos y Transporte (2017). *Boletín estadístico tráfico portuario en Colombia 2016*. Bogotá: Superintendencia de Puertos y Transporte. Recuperado de [http://www.supertransporte.gov.co/documentos/2016/Octubre/Trafico\\_portuario\\_14/PrimSemestre2016\\_V3.pdf](http://www.supertransporte.gov.co/documentos/2016/Octubre/Trafico_portuario_14/PrimSemestre2016_V3.pdf)
- Universidad EAFIT (2017). *Especialización en Dirección de Operaciones y Logística/Acerca de*. Medellín: Universidad EAFIT. Recuperado el 19 de diciembre de 2017 de <http://www.eafit.edu.co/programas-academicos/posgrado/especializacion-direccion-operaciones-logistica/acerca-de-programa/Paginas/perfiles.aspx>
- Worrell, C. (2015, 10 de abril). GE tests tier 4 evolution series engine. *International Railways Journal*. Recuperado de <http://m.railjournal.com/index.php/locomotives/ge-tests-tier-4-evolution-series-engine.html?channel=000>
- Zúñiga Alemán, L. (2012). Project Finance de proyectos de infraestructura. *Themis-Revista de Derecho*, 62, 255-276. Recuperado de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/themis/article/download/9024/9433>

## Anexos

### Flujo de caja

EVALUACION FINANCIERA PROYECTO SISTEMA FERRO MERIDIA-NEOQUI											
Finje de caja - Inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Periodo años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TOTAL INGRESOS (COP)	35.464.894.431	88.273.313.814	100.979.885.161	115.513.226.031	132.135.959.276	148.390.793.730	207.991.728.956	237.955.450.133	271.593.528.862	310.613.127.081	396.446.230.956
EGRESOS TOTALES (COP)	7.351.133.300	17.228.313.088	21.933.536.901	24.744.917.219	33.552.621.629	37.068.061.333	42.794.029.657	48.357.813.400	54.678.429.708	63.899.429.708	68.999.263.619
TOTAL DEBIDA (COP)	28.133.761.131	71.045.000.726	81.947.402.704	93.989.899.133	107.283.586.558	147.956.544.101	169.633.117.539	194.511.550.475	223.177.116.921	255.958.697.372	327.447.964.337
TOTAL DEBIDAS DE INGRESOS E INTERES (COP)	0	106.139.304.871	106.139.304.871	106.139.304.871	106.139.304.871	106.139.304.871	112.908.818.379	112.908.818.379	112.908.818.379	112.908.818.379	208.983.186.539
TOTAL INGRESOS (COP)	14.706.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	153.486.410.543	153.486.410.543	153.486.410.543	153.486.410.543	162.119.420.013
TOTAL INTERES DE INGRESOS (COP)	14.706.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	153.486.410.543	153.486.410.543	153.486.410.543	153.486.410.543	162.119.420.013
TOTAL INTERES DE INGRESOS E INTERES (COP)	14.706.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	147.096.116.530	153.486.410.543	153.486.410.543	153.486.410.543	153.486.410.543	162.119.420.013
TOTAL INGRESOS (COP)	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TOTAL DEBIDAS DE INGRESOS E INTERES (COP)	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TOTAL INGRESOS NETO VENTA VALOR RESIDUAL	408.516	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
TOTAL INGRESOS POR PRESTAMO	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TOTAL AMORTIZACION DEBIDA	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
VALOR TRIBUTARIO	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
IMPUESTOS	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TASA DE CAMBIO	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TOTAL INVERSION	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
FLUJO DE CASH (COP)	670.242.427.921	128.842.794.429	72.925.581.549	80.966.671.081	85.833.294.422	84.980.082.289	82.971.561.594	112.616.084.94	35.596.891.262	63.897.386.279	88.108.953.181
VALOR TRIBUTARIO	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
IMPUESTOS	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TASA DE CAMBIO	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TOTAL INVERSION	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090

Finje de caja - Inversión	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Periodo años	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL INGRESOS (COP)	453.508.445.994	518.783.971.186	593.654.820.821	678.873.417.018	830.707.775.280	973.445.928.037	1.115.315.197.192	1.279.446.714.561	1.469.717.812.215	1.674.904.603.594	1.907.560.740.783	2.179.084.615.206
EGRESOS TOTALES (COP)	70.687.058.673	88.355.447.339	100.821.463.914	113.286.338.511	140.584.938.050	159.909.816.201	180.580.751.753	204.751.324.832	232.222.716.681	267.400.869.445	304.198.878.564	350.291.065.837
TOTAL DEBIDA (COP)	375.441.397.311	430.428.489.276	493.423.156.707	565.307.088.507	710.118.277.230	813.566.166.667	933.691.405.434	1.080.691.949.719	1.242.515.855.535	1.530.503.738.230	1.751.426.868.219	2.008.694.429.399
TOTAL DEBIDAS DE INGRESOS E INTERES (COP)	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898	118.868.837.898
TOTAL INGRESOS (COP)	256.577.556.419	311.944.631.329	374.539.318.809	459.497.764.117	578.539.404.322	690.448.824.779	799.046.673.545	935.016.974.801	1.090.977.703.646	1.468.699.816.096	1.717.762.712.589	1.977.030.286.945
TOTAL INTERES DE INGRESOS (COP)	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363
TOTAL INTERES DE INGRESOS E INTERES (COP)	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363	159.876.704.363
TOTAL INGRESOS NETO VENTA VALOR RESIDUAL	256.577.556.419	311.944.631.329	374.539.318.809	459.497.764.117	578.539.404.322	690.448.824.779	799.046.673.545	935.016.974.801	1.090.977.703.646	1.468.699.816.096	1.717.762.712.589	1.977.030.286.945
TOTAL INGRESOS POR PRESTAMO	256.577.556.419	311.944.631.329	374.539.318.809	459.497.764.117	578.539.404.322	690.448.824.779	799.046.673.545	935.016.974.801	1.090.977.703.646	1.468.699.816.096	1.717.762.712.589	1.977.030.286.945
TOTAL AMORTIZACION DEBIDA	256.577.556.419	311.944.631.329	374.539.318.809	459.497.764.117	578.539.404.322	690.448.824.779	799.046.673.545	935.016.974.801	1.090.977.703.646	1.468.699.816.096	1.717.762.712.589	1.977.030.286.945
VALOR TRIBUTARIO	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
IMPUESTOS	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TASA DE CAMBIO	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TOTAL INVERSION	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
FLUJO DE CASH (COP)	186.580.744.022	198.183.826.934	224.388.134.546	249.327.417.897	244.887.144.969	200.565.162.865	96.936.830.286	598.490.917.577	101.705.551.542	770.704.719.145	874.188.616.128	1.003.868.477.908
VALOR TRIBUTARIO	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
IMPUESTOS	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TASA DE CAMBIO	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090
TOTAL INVERSION	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090	2.226.071.959.090



Flujo de caja libre - inversionista	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
PERIODO (años)												
TOTAL INGRESOS (COP)	2.721.288.076.737	3.112.975.193.999	3.712.575.445.690	3.883.346.220.620	4.061.981.729.176	4.248.945.945.867	4.444.511.542.757	4.649.080.596.347	4.863.065.419.766	5.086.899.356.973	5.321.035.654.989	5.565.948.999.025
EGRESOS TOTALES (COP)	420.300.810.314	473.312.992.370	565.330.699.925	597.242.072.149	620.250.017.024	654.300.323.989	693.440.917.930	685.721.896.097	719.195.683.694	741.917.112.933	771.943.599.880	803.354.999.005
UTILIDAD BRUTA (COP)	2.300.987.266.423	2.639.662.201.618	3.147.144.745.765	3.286.094.148.471	3.441.731.712.152	3.614.645.621.878	3.750.600.624.827	3.963.358.700.250	4.149.889.736.082	4.344.982.282.240	4.549.092.315.409	4.762.614.004.021
TOTAL DEPRECIACIONES (COP)	31.664.424.653	31.664.424.653	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS E INTERESES (COP)	2.269.323.128.770	2.608.998.288.965	3.136.574.218.610	3.285.883.618.317	3.441.561.170.998	3.604.479.081.314	3.740.050.086.672	3.963.358.700.250	4.149.889.736.082	4.344.982.282.240	4.549.092.315.409	4.762.614.004.021
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (COP)	2.890.537.977	29.890.537.977	29.890.537.977	29.890.537.977	29.890.537.977	29.890.537.977	29.890.537.977	9.800.794.814	9.800.794.814	9.800.794.814	9.800.794.814	9.800.794.814
TOTAL INGRESOS (COP)	889.506.383.620	1.039.629.388.970	1.243.056.285.980	1.302.620.298.909	1.364.924.044.112	1.430.088.025.972	1.498.270.565.371	1.581.782.107.020	1.655.399.360.432	1.734.457.869.214	1.816.115.870.389	1.901.519.523.622
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (COP)	1.348.896.382.191	1.544.277.862.081	1.884.027.572.653	1.953.332.958.431	2.066.950.768.909	2.144.949.691.385	2.266.739.188.325	2.371.975.798.406	2.483.869.580.835	2.601.923.678.922	2.723.375.650.005	2.851.473.986.584
TOTAL DEPRECIACIONES	31.664.424.653	31.664.424.653	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154	10.170.553.154
TOTAL INGRESO NETO VENTA VALOR RESIDUAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL INGRESO POR PRÉSTAMO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL AMORTIZACIÓN DEUDA	-	94.631.033.885	-	-	-	-	-	214.988.074.989	-	-	-	-
VALOR TREN USD												
Interes trenes												
TASA DE CAMBIO												
TOTAL INVERSIÓN	1.318.148.542.788	1.383.393.169.285	1.882.186.729.584	1.940.495.548.710	2.032.878.991.888	2.128.524.648.989	2.205.692.650.324	2.344.500.010.839	2.455.148.151.586	2.570.891.252.264	2.691.984.230.781	2.716.949.466.224

Flujo de caja libre - inversionista	36	37	38	39	40
PERIODO (años)					
TOTAL INGRESOS (COP)	5.822.134.831.870	6.090.112.223.980	6.370.423.903.212	6.663.637.584.021	6.970.347.111.247
EGRESOS TOTALES (COP)	836.154.127.723	870.466.690.476	906.341.313.166	943.849.821.908	983.067.348.490
UTILIDAD BRUTA (COP)	4.985.980.704.147	5.219.645.533.504	5.464.082.590.047	5.719.787.762.113	5.987.279.762.757
TOTAL DEPRECIACIONES (COP)	-	-	-	-	-
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS E INTERESES (COP)	4.985.980.704.147	5.219.645.533.504	5.464.082.590.047	5.719.787.762.113	5.987.279.762.757
TOTAL INTERESES (COP)	-	-	-	-	-
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS (COP)	4.985.980.704.147	5.219.645.533.504	5.464.082.590.047	5.719.787.762.113	5.987.279.762.757
TOTAL IMPUESTOS (COP)	1.994.741.609.749	2.088.223.620.135	2.186.015.261.453	2.288.314.923.100	2.428.421.240.672
UTILIDAD NETA (COP)	2.991.239.094.398	3.131.421.913.369	3.278.067.328.594	3.431.472.839.013	3.558.858.522.086
TOTAL DEPRECIACIONES	-	-	-	-	-
TOTAL INGRESO NETO VENTA VALOR RESIDUAL	-	-	-	-	-
TOTAL INGRESO POR PRÉSTAMO	-	-	-	-	-
TOTAL AMORTIZACIÓN DEUDA	-	-	-	-	-
VALOR TREN USD					
nuevos trenes					
TASA DE CAMBIO					
TOTAL INVERSIÓN	2.956.926.531.645	3.095.547.290.679	3.240.558.819.851	3.392.255.312.431	4.839.745.903.255